



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus-ja maaehitusinstituut

Kristjan Raud

**TARTU RENOVEERITUD KORTERELAMUTE SISEÕHU
TEMPERATUURI, SUHTELISE NIISKUSE JA
SÜSIHAPPEGAASI SISALDUSE HINDAMINE
ASSESSMENT OF TEMPERATURE, RELATIVE HUMIDITY
AND CARBON DIOXIDE CONTENT OF RENOVATED
APARTMENT BUILDINGS IN TARTU**

Magistritöö
Maaehituse õppekava

Juhendaja: dotsent Mihkel Kiviste

Tartu 2019

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Kristjan Raud		Õppekava: Maaehitus	
Pealkiri: Tartu renoveeritud korterelamute siseõhu temperatuuri, suhtelise niiskuse ja süsihappegaasi sisalduse hindamine.			
Lehekülgi: 61	Jooniseid: 28	Tabeleid: 20	Lisasid: 1
Osakond :		Maaehitus	
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood:		Ehitusfüüsika, sisekliima	
Juhendaja:		dotsent Mihkel Kiviste	
Kaitsmiskoht ja -aasta:		Tartu 2019	
<p>Kaasaegses kiiresti arenevas ühiskonnas, kus inimesed veedavad väga palju oma vabast ajast kodus, on eriti oluline pöörata suuremat tähelepanu elukeskkonna sisekliimale. Inimesed ise hindavad järjest enam eluaseme mugavust ja siseõhu kvaliteeti, mis tagab neile hea enesetunde ja on tervislik.</p> <p>Käesoleva lõputöö eesmärgiks on uurida ja analüüsida Tartu linnas paiknevate korterelamute sisekliima parameetreid peale renoveerimist.</p> <p>Lõputöö käigus salvestati korterite sisetemperatuur, suhteline õhuniiskus ja süsihappegaasi sisaldus andmesalvestajatega. Siseõhu temperatuuri, suhtelise õhuniiskuse ja süsihappegaasi andmed on nelja kuu pikkusest perioodist.</p> <p>Mõõteperioodi korterite keskmine õhutemperatuur oli 23,9 °C, keskmine suhteline õhuniiskus 34,5% ja keskmine süsihappegaasi sisaldus 769 ppm.</p> <p>Tulemusi analüüsides selgus, et kortermaja siseõhu temperatuur ja süsihappegaasi sisaldus vastavad etteantud väärtustele. Probleemseks kohaks on korterite suhteline õhuniiskus. Olukorra lahendamiseks tuleks edaspidi läbi viia täiendavaid uuringuid ja probleemile sobiv lahendus.</p>			
Märksõnad: sisekliima, siseõhu temperatuur, õhuniiskus, süsihappegaas, hinnang			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Kristjan Raud		Curriculum: Civil Engineering	
Title: Assessment of temperature, relative humidity and carbon dioxide content of renovated apartment buildings in Tartu			
Pages: 61	Figures: 28	Tables: 20	Appendixes: 1
Department:		Civil Engineering	
Field of research and (CERC S) code:		Building physics, indoor climate	
Supervisors:		Mihkel Kiviste	
Place and date:		Tartu 2019	
<p>In the modern fast-developing society where people spend much of their free time at home, it is especially important to pay greater attention to the indoor climate of the living environment. People themselves value the comfort of the housing and the quality of indoor air more and more which ensures them a good feeling and which is healthy.</p> <p>The aim of this thesis is to study and analyse the parameters of the indoor climate of the apartment buildings in the city of Tartu after renovation.</p> <p>In the course of the thesis, the indoor temperature, relative humidity and carbon dioxide content was recorded using data recorders. The data of the indoor air temperature, relative humidity and carbon dioxide are from a period of four months.</p> <p>The average air temperature of the apartments during the measuring period was 23.9 °C, the average relative humidity was 34.5% and the average carbon dioxide content was 769 ppm.</p> <p>When analysing the results, it was revealed that the indoor air temperature and carbon dioxide content of the apartment buildings complied with the prescribed values. The problem was the relative humidity of the apartments. In order to solve the situation, further studies should be conducted and a suitable solution to problem should be found.</p>			
Keywords: indoor climate, indoor temperature, air humidity, carbon dioxide, assessment			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. KORTERELAMUTE SISEKLIIMA	7
1.1 Olemasolev hoonefond	7
1.2 Hoonete ülevaade ja ajalugu	12
1.3 Nõuded sisekliimale	12
1.3.1 Siseõhu temperatuur	14
1.3.2 Ruumi õhuniiskus	16
1.3.3 Ruumi süsihappegaasi sisaldus	17
1.3 Varasemad uuringud: korterelamute sisekliima enne renoveerimist	19
1.3.1 Lühiülevaade varasematest uuringutest	19
1.3.2 Korterite siseõhu temperatuur, suhteline õhuniiskus ja süsihappegaasi sisaldus	19
1.3.3 Varasema korterielanike küsitluse tulemused	26
2. EHITUSFÜÜSIKALISTE MÕÕTMISTE METOODIKA	27
2.1 Uuritavate hoonete valik ja ülevaade renoveerimistest	27
2.2 Sisekliima parameetrid	30
2.2 Korterielanike küsitlus	31
3. MÕÕTMISTE TULEMUSED	32
3.1 Korterite sisetemperatuur	32
3.2 Korterite suhteline õhuniiskus	35
3.3 Korterite süsihappegaasi sisaldus	41
3.4 Mõõdetud parameetrite sisekliima klassidesse kuuluvus	44
3.5 Korterielanike küsitlus	46
3.5 Hinnang sisekliima parameetritele	51
KOKKUVÕTE	53
SUMMARY	55
KASUTATUD KIRJANDUS	57
LISAD	60

SISSEJUHATUS

Kaasaegses kiiresti arenevas ühiskonnas, kus inimesed veedavad väga palju oma vabast ajast kodus, on eriti oluline pöörata suuremat tähelepanu elukeskkonna sisekliimale. Inimesed ise hindavad järjest enam eluaseme mugavust ja siseõhu kvaliteeti, mis tagab neile hea enesetunde ja on tervislik.

Eesti olemasolevast hoonefondist on kolmandik hoonetest korterelamud.[22] Enamus neist on ehitatud 1950. aastate lõpust kuni 1990. aastate alguseni. [24] Sellesse ehitusperioodi jäävad korterelamud on väga halva ehituskvaliteedi ja madala energiatõhususega ning neis esineb probleeme sisekliimaga. Hoone kvaliteetse sisekliima tagab kaasaegne küttesüsteem, ventilatsioon ning välispiirete hea soojus pidavus. Tasakaalustamata ja termostaatventiilideta küttesüsteem ei võimalda ühtlast temperatuuri kogu maja ulatuses ning loomuliku ventilatsiooniga ei tagata ruumis optimaalset õhuniiskust ja süsihappegaasi taset. Probleemseid hooneid on hakatud järjest enam renoveerima, seda siis paljuski tänu erinevatele projektidele kui ka omaalgatuslikult. Korterühistutel on võimalik enne 1993 aastat ehitatud korterelamutele taotleda SA KredExist rekonstrueerimise toetust, mille toetusmäär moodustab kuni 40% kogu tööde maksumusest. Tartu linn on liitunud rahvusvahelise koostööprojektiga SmartEnCity, mille käigus renoveeritakse suur hulk kesklinna piirkonna korterelamuid.

Sisekliima koosneb väga paljudest parameetritest. Sisekliima mõjurid võidakse jagada soojuslikeks, keemilisteks, füüsikalisteks, optilisteks ja inimesest tulenevateks[21]. Käesoleva lõputöö eesmärgiks on uurida kolme sisekliimaparameetrit renoveerimise järgsetes Tartu linna korterelamutes. Uurimise käigus salvestatakse andmeid nende kolme sisekliima parameetri kohta ja antakse hinnang kortermajade sisekliimale peale nende renoveerimist. Mõõdetavateks parameetriteks on siseõhu temperatuur, suhteline õhuniiskus ja süsihappegaasi sisaldus. Uuritavad korterelamud paiknevad üle terve linna.

Uuringute alustamiseks oli vaja kaardistada Tartu linna renoveeritud ja renoveeritavad korterelamud, et oleks hiljem valiku tegemiseks piisavalt hooneid. Järgnevalt tuli leida korteriühistute kontaktid, suhelda juhatuse liikmetega ja leppida kokku uuritavate korterite omanikega sobiv aeg andmesalvestajate paigaldamiseks ning hiljem ka andmete allalaadimiseks. Juhatuse liikmetega suheldes kohtas väga vastakaid suhtumisi, oli neid kes olid kohe kahe käega poolt ja abivalmis, kui ka selliseid, kes hakkasid oma kasu taga ajama. Oli ka kokkupuude sellise korteriühistuga, kes arvas et nende kortermaja renoveerimise kvaliteet on nii madal, et ei julge lasta uuringuid läbi viia. Selline suhtlemine ja kokkuleppimine nõudis palju aega ning andmete maht mis koguti, väga suur.

Lõputöö esimese peatükis antakse ülevaade ja ajalugu uuritavate korterelamute kohta. Tuuakse välja nõuded ja ettenähtud piirväärtused uuritavatele sisekliima parameetritele. Tehakse ülevaade ja tuuakse välja tulemused varasematest sisekliima uuringutest nii Eestis, kui ka lähiriikides Soome, Läti, Leedu, kus on uuritud sarnaseid korterelamuid.

Teises peatükis antakse ülevaade uuringusse valitud hoonetest ja renoveerimistöödest, mis on läbi viidud. Esitatakse koondtabel osalevatest korterelamutest. Tuuakse välja meetodika uuringus osalevate hoonete sisekliima hindamiseks. Esitatakse korterielanike küsitluse ankeedi peamised punktid.

Kolmas peatükk sisaldab uuritavaid tulemusi. Salvestatud ja kogutud sisekliima andmete põhjal analüüsitakse siseõhu temperatuuri, suhtelist õhuniiskust ja süsihappegaasi sisaldust. Võrreldakse nende parameetrite vastavust ette antud nõuetega ja soovituslike tasemetega. Samuti tuuakse välja võrdlus varasemate uuringutega, mis on läbi viidud nii enne kui ka peale renoveerimist. Tehakse kokkuvõte korterielanike seas läbi viidud ankeetküsitlusest ja tuuakse välja erinevused reaalse olukorra ja tajumise vahel. Kõige lõpus antakse omapoolne hinnang renoveerimise mõjule korterelamute siseõhu temperatuurile, suhtelisele õhuniiskusele ja süsihappegaasi sisaldusele.

Autor tänab vastutulelikke ja abivalmis korteriomanike nende kannatlikkuse eest. Tänu neile said uuringud üldse toimuda. Samuti on autor tänulik juhendajale Mihkel Kivistele teema väljapaneku eest.

1. KORTERELAMUTE SISEKLIIMA

1.1 Olemasolev hoonefond

Eesti olemasolevast hoonefondist 60% hoonetest on eluhooned ning 31% kogu hoonetest korterelamud[22]. Suurem osa kortermajadest on ehitatud 1950. aastate lõpust kuni 1990. aastate alguseni.[24] Sellesse ehitusperioodi jäävad korterelamud on väga halva ehituskvaliteedi ja madala energiatõhususega. Veerandi korterelamute vanus on üle 50 aasta ja üle 60% korterelamutest on vanad juba rohkem kui 35 aastat [27]. Ehitise elueateooria kohaselt on elamute keskmiseks elueaks 50-70 aastat. Sellisesse eluikka jõudnud elamu konstruktsioone ja tehnosüsteeme võib lugeda nii füüsiliselt kui ka moraalselt vananenuks, mistõttu hoone vajab lisaks järjepidevatele hooldustöödele suuremahulisemaid rekonstrueerimistöid. Suurem osa Eesti eluasemefondist on tänaseks oma eluea saavutanud või sellele lähenemas [28] ja praegustel omanikel tuleb üha suuremat tähelepanu pöörata olemasolevate hoonete säilitamisele. Seoses kütuste hinna pideva tõusuga ja vajadusega säästa fossiilseid kütuseid ning vajadusega säästa loodust on päevakorda tõusnud energiat säästva renoveerimise nõue [29]. Väga oluline on jälgida renoveerimise terviklikust. Juhul kui hoonele paigaldatakse lisasoojustus, tuleks renoveerida ka küttesüsteem ja see uuesti reguleerida. Lisaks tuleks korrada renoveerida ventilatsioonisüsteem. Selleks aga et tagada soojustagastusseadmete efektiivne töö, tuleb parandada hoone õhutihedust. Suurima energiasäästu ja mugavamad võimalikud elamistingimused saavutatakse kui renoveerimine on terviklikult planeeritud ja läbi viidud. Kompleksset lähenemist nõuavad ka EL ja riiklikud toetusmeetmed, mille saamise eelduseks see on.[30] Euroopa Liidus reguleerib hoonete energiatõhusust Hoonete Energiatõhususe Direktiiv Euroopas- Energy Performance of Buildings Directive, EPBD. [33]

Vastavalt vabariigi valitsuse määrusele Hoone energiatõhususe miinimumnõuded [31] on Eestis kohustuslik uute hoonete ehitamisel ja olemasolevate hoonete rekonstrueerimisel jälgida energiatõhususearvu piirväärtusi. Energiatõhususarv on arvutuslik summaarne

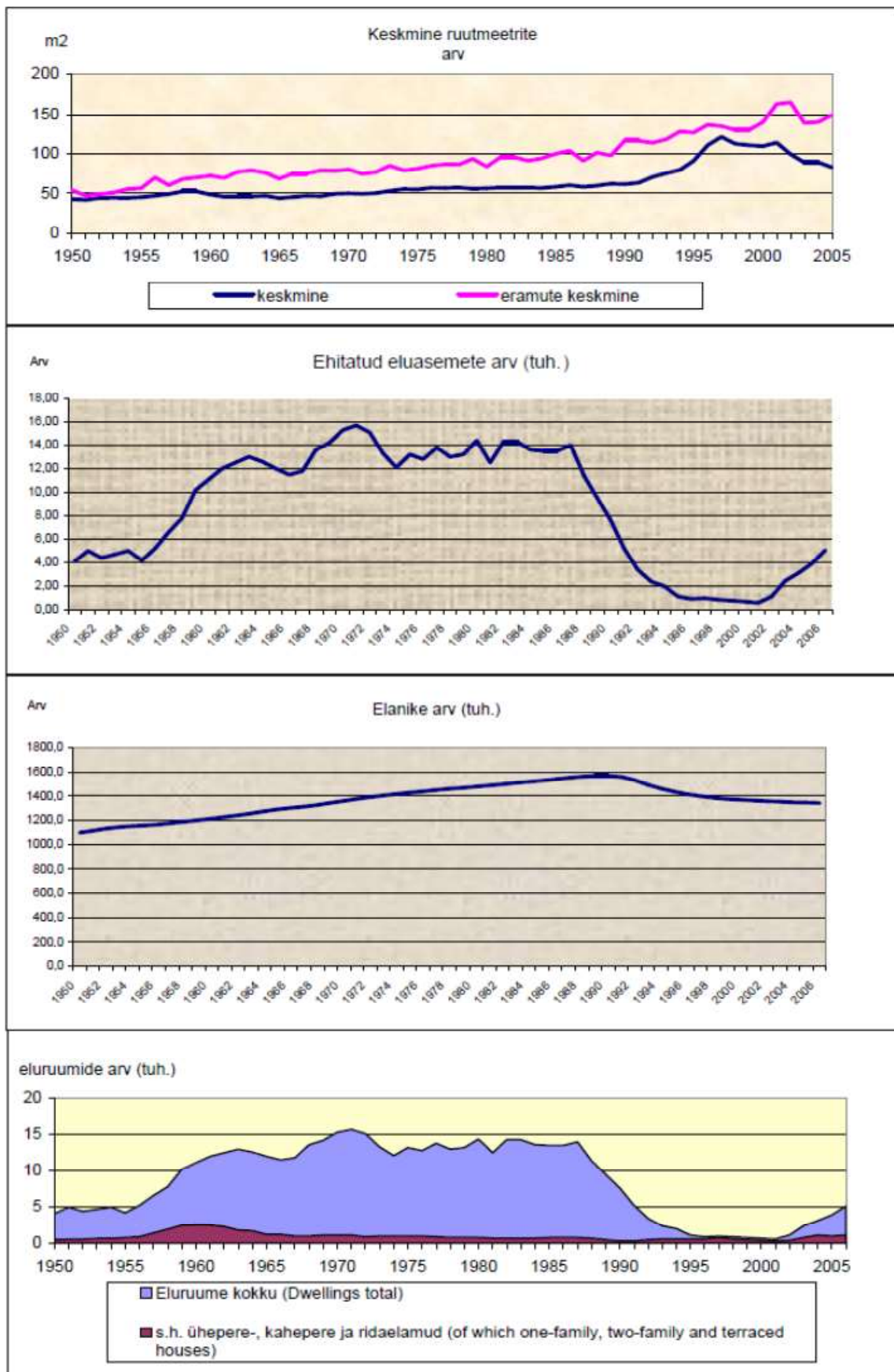
tarnitud energiate kaalutud erikasutus hoone tüüpilisel kasutusel. Energiatõhususarv kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks ning see arvutatakse hoone kütava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel. Energiatõhususarvu ühikuks on kilovatt-tund hoone kütava pinna ruutmeetri kohta aastas. [31]

Korterelamute energiatõhususarvude piirväärtused Eestis on järgmised[31]:

- Madalenergiahoone energiatarbimise piirväärtus $125 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- Oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatarbimise piirväärtuse $150 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
- Liginullenergiahoone energiatarbimise piirväärtuse $105 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

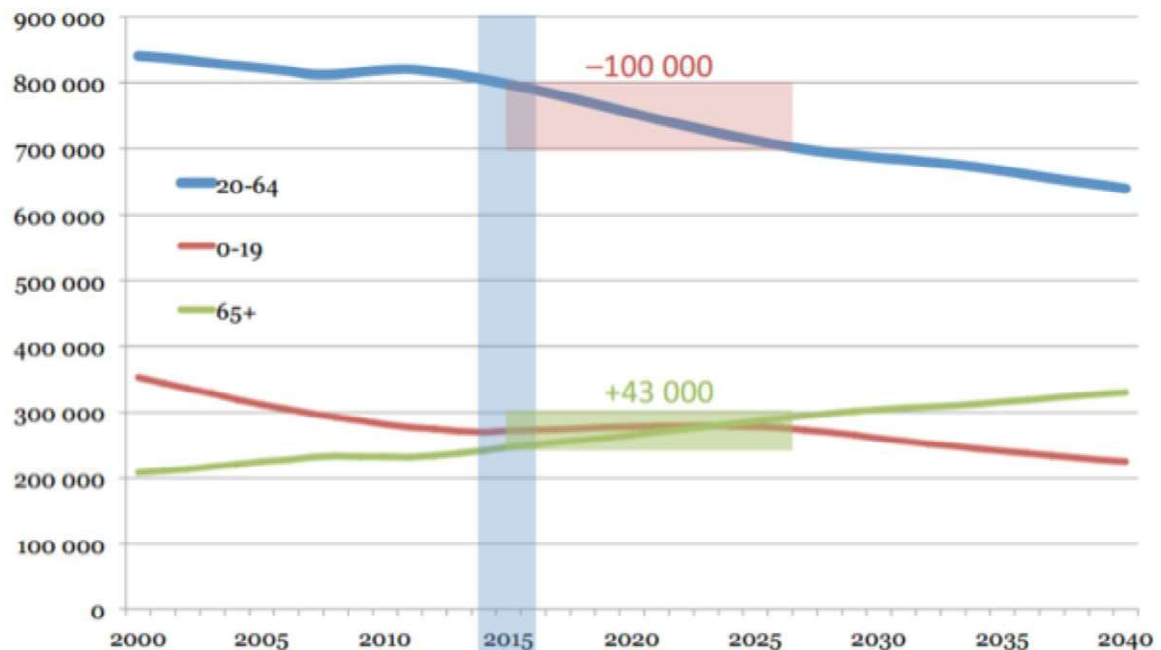
Eesti elamumajanduse üheks suurimaks väljakutseks on olemasoleva hoonefondi kompleksse rekonstrueerimisega saavutatav energiasääst ja sisekliima parandamine. Selle jaoks on Majandus- ja Kommunikatsiooniministeriumis välja töötatud arengukava Eesti pikaajalise energiamajanduse arengukava aastani 2030- ENMAK 2030, mille erinevate stsenaariumite puhul on kavas rekonstrueerida 15-50% olemasolevatest korterelamutest.[32]

Joonisel 1 on näha, kuidas 1950ndate alguses tõusis hüppeliselt uute korterelamute ehitus. Kui enne seda perioodi oli ehitatud eluasemete arv 4000 kandis, siis uusehituse tippaegadel (1970-80ndatel aastatel) küündis see 16000 ehitatud eluasemele aastas. Samal ajal kasvas ka elanike arv, jättes keskmise ruutmeetrite arvu inimese kohta korterelamutes aastateks suhteliselt samale tasemele. Kortermajade ehitus pidurdus 1990ndate alguses, olles 2000ndate alguses minimaalsel tasemel. Samal ajal langes ka elanike arv, kergitades keskmise ruutmeetrite arvu inimese kohta korteris.



Joonis 1. Keskmine ruutmeetrite arv elaniku kohta, ehitatud eluasemete arvu ja elanike arvu võrdlus[24]

Nagu jooniselt 1 selgub on elanike arv viimasel paarikümnel aastal olnud languses ja sama trend jätkub ilmselt ka edasipidi. Lisaks rahvastiku vähenemisele on suureks probleemiks elanikkonna vananemine (joonis 2). Pidevas tõusus on pensionäride hulk ja langeb tööl käivate inimeste arv. Joonisel 2 on välja toodud 2000-2040 aasta eeldatav demograafiline muutus. [25]

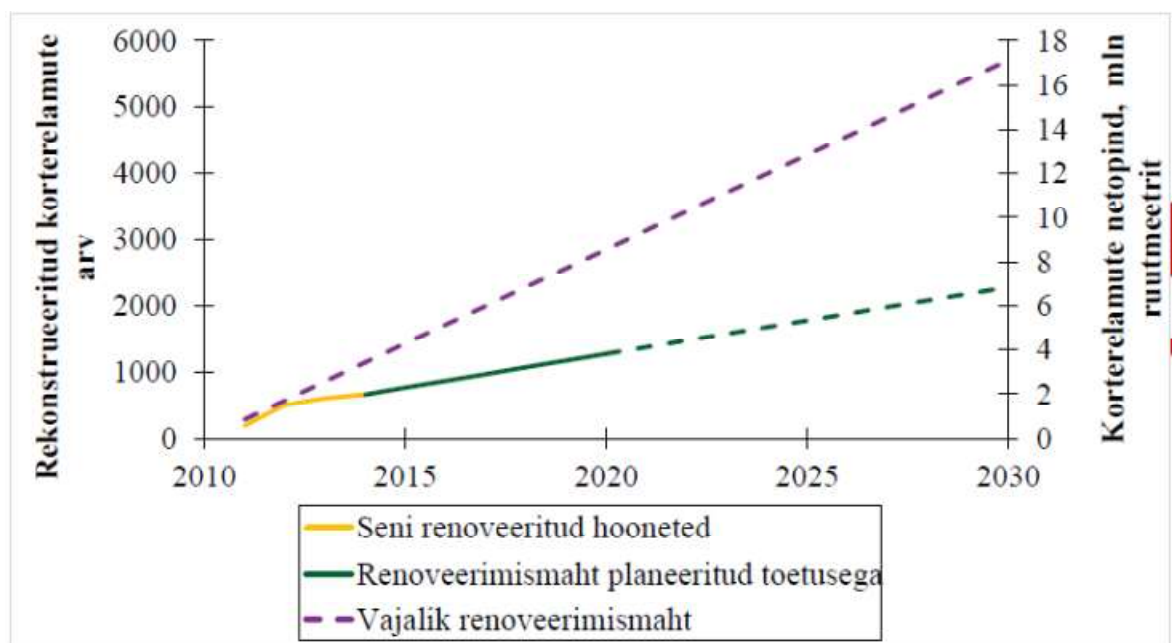


Joonis 2. Eesti elanike arvu demograafiline koosseis 2000-2040 aastal[25]

Elanikkonna vananemisega kaasneb ka riigi poolt ülalpeetavate arvu suurenemine ja majanduskasvu aeglustumine, mis omakorda tähendab korterelamute rekonstrueerimiste aeglustumist. Selleks, et rekonstrueerimised jätkuksid vajalikus mahus on Sihtasutus KredEx poolt taotleda erinevates ulatustes toetusmäärasid. Toetust saab taotleda enne 1993. aastat ehitatud ja kasutusele võetud korterelamule. Toetust saab taotleda 15%, 25% ja 40% (Ida-Virumaal 25%, 35% ja 50%) ulatuses rekonstrueerimistööde kogumaksumusest. Toetust saab taotleda 50% ulatuses tehnilise konsultandi ja omanikujärelevalve teenuse maksumusest. Tallinnas ja Tartus ei saa taotleda 15% ulatuses toetust. Kõikide rekonstrueerimistoetuse määrade puhul tuleb parandada ka korterelamute sisekliimat, mis enamikel juhtudel on lahendatud ka ventilatsioonisüsteemi rekonstrueerimisega.

15% toetuse puhul tuleb teostatavate töödega saavutada 20% energiasääst, 25% toetuse puhul tuleb rekonstrueerida küttesüsteem, soojustada fassaad, katus ja vahetada kõik vanad aknad, 40% toetuse puhul tuleb lisaks eelnimetatule tõsta külmasildade vältimiseks ka aknad soojustuse tasapinda või soojustada aknapaale ja paigaldada soojustagastusega ventilatsioonisüsteem. [30]

Joonisel 3 on näha Eesti Arengufondi (P. Siitam) nägemus kui palju oleks 2030 aastaks vajalik korterelamuid renoveerida, kui palju on neid seni renoveeritud ja kui palju nendest renoveerimismahtudest on planeeritud läbi viia toetustega. [25] Jooniselt on juba praeguseks selgelt näha, et vajalikku renoveerimismahtu ei õnnestu saavutada. Tänu planeeritud toetusega kavandatud renoveerimismahuga liigutakse küll tõusvas suunas, aga see kasv ei ole piisav et tagada vajalikke renoveerimismahte.



Joonis 3. Rekonstrueeritud korterelamute kava aastani 2030 [25]

1.2 Hoonete ülevaade ja ajalugu

Uuritavad korterelamud on ehitatud aastatel 1965 - 1977. Suurem osa hooneid, mis uuringus osalesid, on nn. "Hruštšovka" tüüpi majad. Massiliselt püstitati sellist tüüpi korterelamuid Nõukogude Eestis 1950. aastate lõpust ligikaudu kümne aasta jooksul [2]. Sellel ajal oli võimul tollase NSV liidu juht Nikita Hruštšov. Sellest tulenevalt on need korterelamud saanud ka oma rahvapärase nime "Hruštšovkad" [3]. Alates 1958. aastast muutus oluliselt elamuehitus, võeti vastu uued projekteerimise normid, mille järgi oli iga korter mõeldud ainult ühele perekonnale.

Nende korterelamute korterid on enamasti ühe- või kahetoalised, väikeste köökide ja esikutega. Konstruktsiooni järgi jagunevad nn."hruštšovkad" kaheks - silikaattellistest ja silikaltsiidist või põlevkivituhast valmistatud suurplokkidest hooneteks. Kortereelamud on tavaliselt kolme- kuni viiekorruselised ja kahe- kuni nelja trepikojaga.[4] Uuringus osalevad hooned on nii kolme- kui ka viiekorruselised.

"Hruštšovka" tüüpi majad on Eestis laialdaselt levinud ja neid võib leida suurematest linnadest ning asulatest. Hruštšovkasid püstitati Tartu kesklinna piirkonda, kus Teises Maailmasõjas oli hävinud olemasolev hoonestus: Aleksandri tn, Turu tn ja Tiigi tn piirkondadesse. [4]

1.3 Nõuded sisekliimale

Nõuded eluruumidele on kehtestatud vabariigi valitsuse määrusega nr 85 [5]. Eluruumis peab olema loomulik või mehaaniline ventilatsioon, mis tagab inimese elutegevuseks vajaliku õhuhulga ja selle ringluse. Õhu liikumise kiirus eluruumis, eluruumi maht ühe inimese kohta, keemiliste ja bioloogiliste ühendite sisalduse piirkontsentratsioon siseõhus peab vastama kehtestatud nõuetele. Siseõhu temperatuur eluruumis peab olema optimaalne, looma inimesele hubase soojatunde ning aitama kaasa tervisliku ja nõuetekohase sisekliima tekkimisele ja püsimisele. Kaugküttevõrgust või hoone katlamajast köetavas eluruumis ei tohi siseõhu temperatuur inimese pikemaajalisel ruumis viibimisel olla madalam kui 18 °C. Siseõhu temperatuuri lubatav ülempiir tuleb määrata kehtestatud nõuete alusel.

Eluruumis peab siseõhu suhteline niiskus olema vahemikus, mis ei kahjusta inimese tervist, väldib veeauru kondenseerumist ja ei tekita niiskuskahjustusi. Eluruumi siseõhu optimaalne suhteline niiskus on 40–60 protsenti. Väljastpoolt eluruumi paiknevast allikast lähtuva müra helirõhu tase eluruumis ei tohi päeval ületada 40 detsibelli ja öösel ületada 30 detsibelli taset. [5]

Hoonete sisekliima klassifitseerimiseks on toodud standardis EVS-EN 15251:2007 [6] sisekliima klassid tabel 1.

Tabel 1. Sisekliima klassid [6]

Sisekliima klass	Selgitus
I	Kõrged nõudmised sisekliima kvaliteedile. Soovitatavad ruumides, kus viibivad väga tundlikud, nõrga tervisega ja erinõuetega inimesed, näiteks puuetega inimesed, haiged, väga väikesed lapsed ning eakad inimesed.
II	Tavapärased nõudmised sisekliima kvaliteedile. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritavates hoonetes.
III	Mõõdukad nõudmised sisekliima kvaliteedile. Võib rakendada olemasolevates hoonetes.
IV	Sisekliima kvaliteedi väärtused, mis jäävad väljapoole eelmainitud klasse. Antud klass võib olla vastuvõetav ainult piiratud ajal aastast.

Standardist väljatoodud tabeli alusel on võimalik mõõdetud sisekliima parameetrite, temperatuur ja suhteline õhuniiskus, alusel määrata, millisesse klassi hoone peaks kuuluma ja millisesse kuulub tegelikult. Tabelis 2 on välja toodud temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse sisekliima klasside piirsuurused.

Tabel 2. Sisekliima klasside temperatuuride ja suhtelise õhuniiskuse piirsuurused [6]

Sisekliima klass	Temperatuur talveperioodil		Suhteline õhuniiskus
I	$22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$	$21^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$	30% - 50%
II	$22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$	25% - 60%
III	$22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$	$19^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$	20% - 70%
IV	$22^{\circ}\text{C} \pm >3^{\circ}\text{C}$	$<19^{\circ}\text{C} - >23^{\circ}\text{C}$	$<20\% - >70\%$

1.3.1 Siseõhu temperatuur

Tähtsaim sisekliima parameeter on ruumi õhutemperatuur, mis on põhiline inimese soojusliku mugavust mõjutav tegur. Ruumi optimaalne temperatuur peaks rahuldama vähemalt 90...95% inimesi teatud riietuse ja kehalise aktiivsuse juures. Rahulolekus alasti inimesele on optimaalne õhutemperatuur 28...30 °C, kerges rõivas inimese jaoks 22...25 °C, tavalises rõivas kerget tööd tegeva inimese jaoks 18...20 °C. Mida raskem on kehaline tegevus, seda madalam on optimaalne õhutemperatuur. [21]

Sisekliima peamiseks mugavusnäitajaks on hubasus. Hubasus on suhteline ning on seotud inimese tunnetusega. Seda mõjutab suuresti ruumis valitsev õhutemperatuur. Vastavalt välistemperatuurile on paika pandud hubase ruumi õhutemperatuuri vahemikud, näiteks välistemperatuuri 22 °C korral on hubase ruumi temperatuurivahemik 22...25 °C. Välistemperatuuri vahemikul 20...30 °C püsib hubane soovituslik sisetemperatuur konstantsena. Alates 30 °C on küllaltki raske hoida optimaalset sisetemperatuuri, selletõttu välistemperatuuri kasvades üle 30 °C on lubatud ka kõrgem sisetemperatuur. [21]

Ruumis valitsev õhutemperatuur tuleks hoida optimaalne, see tähendab, et ümbritsevate pindade temperatuur ning inimkeha temperatuur on ligikaudu võrdsed. Liiga kõrge õhutemperatuur ei ole inimesele hea, kuna võib langeda nii vaimne kui ka füüsiline teovõime. Lisaks sellele võib kõrge temperatuur tekitada ka tervisehäireid. Ka liiga madal õhutemperatuur pole hea, kuna see põhjustab pidevat külma- ning ebamugavustunnet. Mida suurem on temperatuuride erinevus, seda suurem on inimese ebamugavustunne. [21]

Tabelis 3 on eluruumide soovituslikud temperatuurid sisekliima klasside järgi.

Tabel 3. Elumaja soovituslikud operatiivsed ruumitemperatuurid [11]

Ruumi tüüp	Sisekliima klass	Miinimum kütteks (talvehooaeg), °C	Maksimum jahutuseks (suvehooaeg), °C
Inimeste viiberuumid: magamistoad, elutoad, köögid, jne	I	+21,0	+25,5
	II	+20,0	+26,0
	III	+18,0	+27,0
Teised ruumid: panipaigad, esikud, jne	I	+18,0	
	II	+16,0	
	III	+14,0	

Elamute siseõhu temperatuur kõigub pidevalt ning ei ole ühtlaselt konstantne. Suured temperatuuri kõikumised ei mõju inimeste mugavustundele hästi. Temperatuuri kõikumine ööpäevas ei tohiks olla üle 4 °C ning muutumiskiirus jääma alla 0,6 °C tunnis. Standardiga on määratud soovituslikud temperatuurivahemikud sisekliima kolmele klassile nii kütteperioodil kui ka jahutusperioodil.[11] Tabelis 4 on välja toodud soovituslikud sisetemperatuurid eluhoonetes.

Tabel 4. Soovituslikud ruumitemperatuuri vahemikud eluhoonetes [11]

Ruumi tüüp	Sisekliima klass	Temperatuuri vahemik kütteks, °C	Temperatuuri vahemik jahutuseks, °C
Eluruumid: magamistoad, elutoad, jne	I	21,0-25,0	23,5-25,5
	II	20,0-25,0	23,0-26,0
	III	18,0-25,0	22,0-27,0
Muud ruumid: panipaigad, köögid, jne	I	18,0-25,0	
	II	16,0-25,0	
	III	14,0-25,0	

1.3.2 Ruumi õhuniiskus

Siseõhu niiskusesisaldus sõltub välisõhu temperatuurist ja niiskusest, siseõhu temperatuurist ning ruumis leiduvast liigniiskusest ja ventilatsiooni õhuvoolu suuruselt. Ruumis leiduv niiskus tuleb peamiselt inimtegevusest, pesemisest, vannis käimisest, söögitegemisest, taimedest jne. [7] Eluruumi siseõhu optimaalseks niiskuseks loetakse 40...60%. [5] Inimese mugavustunnet mõjutab siseõhu niiskus, mida tavaliselt väljendatakse suhtelise niiskusena protsentides. Kuna inimesel puudub otsene niiskust tunnetav meel, siis tunnetab inimene vaid kõrget või madalat suhtelist niiskust naha, limaskestade ning hingamisorganite kaudu. [8] Madal niiskusetase soodustab ebamugavustunnet limaskestade kuivamise näol, tekitab halba enesetunnet ning ärritab nahka. Kuiv ruumiõhk soodustab õhu tolmutumist. Tolm kahjustab nahka, silmi ja hingamiselundeid ning tekitab allergiat. Seevastu kõrge suhteline niiskus vähendab õhu tolmutumist, kuid soodustab bakterite ja hallitusseente kasvu ning ehitusmaterjalidest erituvate saasteainete hulka. Kõrget suhtelist niiskust on võimalik korrigeerida õhuvahetuse suurendamisega ruumis. Tunnetuslikult peetakse niiskemat õhku meeldivamaks, kuid inimene talub kuiva õhku paremini. [9;10;7]

Eestis on välisõhu suhteline niiskus küllaltki kõrge. Kuude keskmiste suhteline õhuniiskus jääb 70...90% vahele.[34] Seetõttu on suvel suhteline niiskus eluruumides optimaalne, jäädes 30...70% piiresse. Kütteperioodil ehk peamiselt talvel on kortermajade suurimaks probleemiks madal õhuniiskus. Kütteperioodil võib see kohati langeda isegi alla 20%, mida loetakse alampiiriks.[6] Normid näevad ette talvisel perioodil ruumi suhteliseks niiskuseks 25...40%.[6] Madala õhuniiskuse kompenseerimiseks kasutatakse erinevaid automaatikasüsteeme. Tavakasutajale lihtsaim ning kättesaadavaim on õhuniisutaja. Automaatse süsteemiga on võimalik määrata siseõhu niiskusetaseme väärtus, seevastu käepärasema õhuniisutajaga on soovitud taset raskem hoida. [10] Soovituslikud hõivatud ruumide siseõhu suhtelise niiskuse väärtused on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Soovituslikud hõivatud ruumide suhtelise niiskuse väärtused [11].

Sisekliima klass	Soovituslik minimaalne suhteline õhuniiskus, %	Soovituslik maksimaalne suhteline õhuniiskus, %
I	30	50
II	25	60
III	20	70
IV	< 20	> 70

1.3.3 Ruumi süsihappegaasi sisaldus

Süsihappegaasi, CO₂ sisaldus õhus iseloomustab inimeste saasteeritust ning tihti kasutatakse seda hõivatud ruumide õhukvaliteedi indikaatorina. Süsihappegaasi sisaldus õhus sõltub ruumis viibivate inimeste arvust ja nende tegevusest. Lisaks mängib rolli ka ruumi kõrgus ning õhuvooluhulk. Inimese poolt sissehingatav õhk sisaldab 21% hapnikku, 78% lämmastikku ning 0,036% (360 ppm) süsinikdioksiidi. Inimese väljahingatavas õhus sisaldub aga 18% hapnikku ja 1% (10000 ppm) süsinikdioksiidi, ehk kuni 30 korda rohkem CO₂-te. kui sissehingatud õhus. Seetõttu hõivatud ruumis suureneb pidevalt CO₂ sisaldus. Tühjas ventileeritud ruumi siseõhus on CO₂ sisaldus natuke üle 400 ppm ja hõivatud ruumis 1000 ppm või rohkem. [7] Tabelis 6 on toodud välja süsihappegaasi eraldus vastavalt tegevuse aktiivsusele.

Tabel 6 Süsihappegaasi eraldus erinevate tegevuste korral [7]

Tegevus	Täiskasvanu, l/h	Laps, l/h
Magamine	10-12	7-10
Istumine	12-15	9-12
Trükkimine	19-24	
Kerge töö	33-42	15-34
Tantsimine, pallimängud	55-70	42-59

Kõrge süsihappegaasi kontsentratsioon õhus viitab halvale siseõhu kvaliteedile. Maailma Tervise Organisatsioon märgib, et süsihappegaasi sisaldus siseõhus ei tohiks olla suurem kui 0,1% ehk 1000 ppm. Antud suurus on pigem soovituslik ning on hea siseõhu kvaliteedi piirväärtuseks. Kui ruumi CO₂ sisaldus õhus tõuseb juba üle 1500 ppm, siis loetakse ruumiõhku mittevärskeks. Tervislikuks piiriks on loetud 0,5% ehk 5000 ppm, milleni

tavaliselt ei jõuta. [7] Ruumi CO₂ sisaldus mängib inimese enesetundes suurt rolli. Kui otseselt ei pruugi inimene kõrget süsihappegaasi kontsentratsiooni tunda, siis kaudselt avaldab see mõju tema enesetundele ning une kvaliteedile. [7] Ruumi ventilatsiooni õhuvooluhulk mõjutab ruumis valitsevat süsihappegaasi sisaldust. Mida suurem on õhuvooluhulk, seda parem on ruumi ventileeritavus ning inimeste elutegevusest eraldunud saaste hulk on väiksem. Kui ventilatsiooni õhuvooluhulk on väike, siis on akende avamisel suur mõju CO₂ kontsentratsioonile. Hoidmaks CO₂ kontsentratsiooni alla hea siseõhu kvaliteedi väärtuse ehk 1000 ppm-i, on vajalik õhuvooluhulk 8 l/s inimese kohta, mis vastab õhuvahetuse kordarvule 5,5 h⁻¹ ehk vooluhulk peab olema 5,5 m³ /h ühe m³ toa ruumala kohta. CO₂ kontsentratsiooni hoidmiseks alla 1500 ppm peab õhuvooluhulk ruumis olema 4 l/s inimese kohta, mis vastab õhuvahetuse kordarvule 1,5 h⁻¹. Välja on toodud, et eluruumides peab olema õhuvahetus vähemalt 0,35 l/(s · m²) ehk 0,35 l ühe m² põrandapinna kohta, et tagada hea õhukvaliteet eeldusel, et ruumi saasteainete eraldus pole segavalt kõrge. [7] Standard EVS 15251:2007 annab ette soovituslikud CO₂ kontsentratsioonid üle välisõhu kontsentratsiooni. Antud suurused on toodud tabelis 7.

Tabel 7. Soovituslikud CO₂ kontsentratsioonid üle välisõhu kontsentratsiooni. [11]

Sisekliima klass	Siseõhu CO ₂ sisaldus, ppm
I	700
II	850
III	1150
IV	> 1150

1.3 Varasemad uuringud: korterelamute sisekliima enne renoveerimist

1.3.1 Lühüülevaade varasematest uuringutest

Varasemalt on kortermajade sisekliimat Eestis uuritud peamiselt Tallinna Tehnikaülikooli uurimisgrupi poolt ning on välja antud uuringu lõppraportid: "Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga" [12] ja "Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga" [13] ja artiklid [14,15]. Eestis on korterelamute sisekliimat uurinud veel Mihkel Vitsut lõputöös teemal: "Tellis- ja suurplokk korterelamute ehitustehnilise seisukorra hindamine ja korterite sisekliima renoveerimiseelne mõõtmine"[26]. Lisaks on sisekliimat uuritud põhjalikult Soomes koostatud Insulate [16] projekti raames, kus uuriti korterelamute sisekliimat lisaks Soomele ka Leedus. Need on põhilised uuringud, milles kasutatud sisekliima parameetrite mõõtmistulemusi käesoleva töö mõõtmistulemustega võrreldakse.

Veel on siseõhu temperatuuri, suhtelist õhuniiskust ja süsihappegaasi sisalduse uuringuid läbi viidud Slovakkias, uuringu "Effect of energy renovation on indoor air quality in multifamily residential buildings in Slovakia"[35] käigus. Antud uuringus viidi esimesed mõõtmised läbi kolmes paaris majas, kus igas paaris üks maja oli renoveerimata ja teine renoveeritud. Teises mõõtmisperioodis mõõdeti ühte maja enne ja peale renoveerimist. Mõõtmised toimusid talvisel perioodil ühe nädala jooksul 94-s korteris. Uuringus osalenud korterelamud olid ehitatud 1965-1983 aastal. [35]

1.3.2 Korterite siseõhu temperatuur, suhteline õhuniiskus ja süsihappegaasi sisaldus

Eestis varasemalt läbiviidud korterite siseõhu temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse mõõtmistulemused on koondatud tabelis 2. Korterelamute keskmised siseõhu temperatuurid jäid varasemates Eestis läbi viidud uuringutes vahemikku +21°C kuni +23,4°C. Minimaalse +12°C ja maksimaalse +29°C temperatuuri vahest selgub, et korterite siseõhu temperatuur kõigub väga suures vahemikus. Sisetemperatuuride kõikumine kütteperioodil ei ole otseselt sõltuv välistemperatuurist, vaid hoopis küttesüsteemi reguleerimisgraafikust. Juhul kui korterites on termostaatideta radiaatorid ja küttevee

soojusregulaatori graafik on paigast ära, võib selle tulemusena järgneda ruumide alajahtumine või ülekütmine [12].

Tabelis 8, 9 ja 10 on välja toodud varasemate uuringute siseõhu temperatuurid ja suhteline õhuniiskus erinevat tüüpi korterelamutes[12] [13] [19] [26] [35].

Tabel 8. Korterite siseõhu temperatuurid[12] [13] [19] [26].

	Telliskorterelamud [12]		Suurpaneelelamud [13]		Hruštšovkad [19],[26]	
Temperatuur	keskmine t°C	min max t°C	keskmine t°C	min max t°C	keskmine t°C	min max t°C
Suvel	+23,2°C	+20,2°C +25,8°C	+23,4°C	+20,2°C +25,2°C	+21,0°C +22,2°C	+17,3°C +26,1°C
Talvel	+21,1°C	+12°C +29°C	+21,3°C	+16,3°C +25,8°C		+13,2 °C +28,9°C

Tabel 9. Korterite suhteline õhuniiskus[12] [13] [19] [26].

	Telliskorterelamud [12]		Suurpaneelelamud [13]		Hruštšovkad [19],[26]	
Suhteline õhuniiskus	Keskmine %	min max %	keskmine %	min max %	keskmine %	min max %
Suvel	52%	42% 62%	52%	43% 70%	50% 35,6%	18% 87%
Talvel	33%	19% 54%	37%	23% 65%		16,3% 67,3%

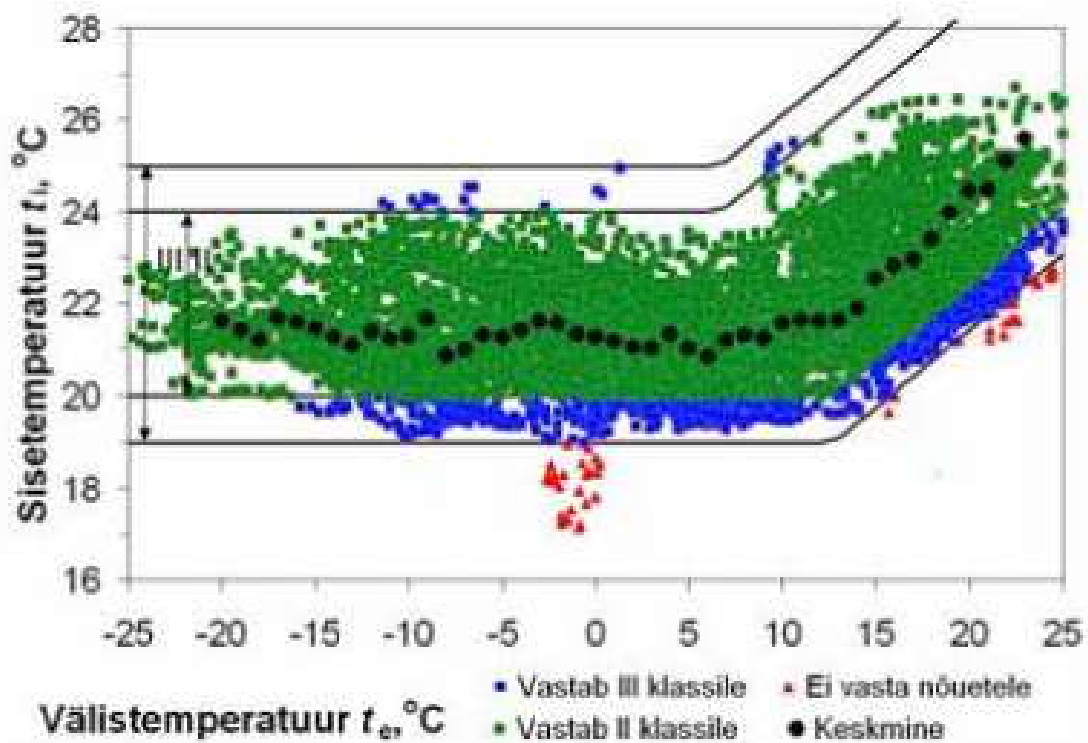
Tabel 10. Slovakkia korterelamute uuringu tulemused [35]

	Siseõhu temperatuur, °C		Suhteline õhuniiskus, %		Süsihappegaas, ppm	
	Keskmine	Min, max	Keskmine	Min, max	Keskmine	Min, max
Renoveerimata	21,5	17,6-25,1	46	34-65	1180	430-3380
Renoveeritud	22,5	19,2-25,8	46	31-61	1380	510-3570
Enne renoveerimist	20,9	18,7-23,9	46	34-61	1205	595-2665
Peale renoveerimist	22,2	20,6-24,0	48	39-59	1570	790-3575

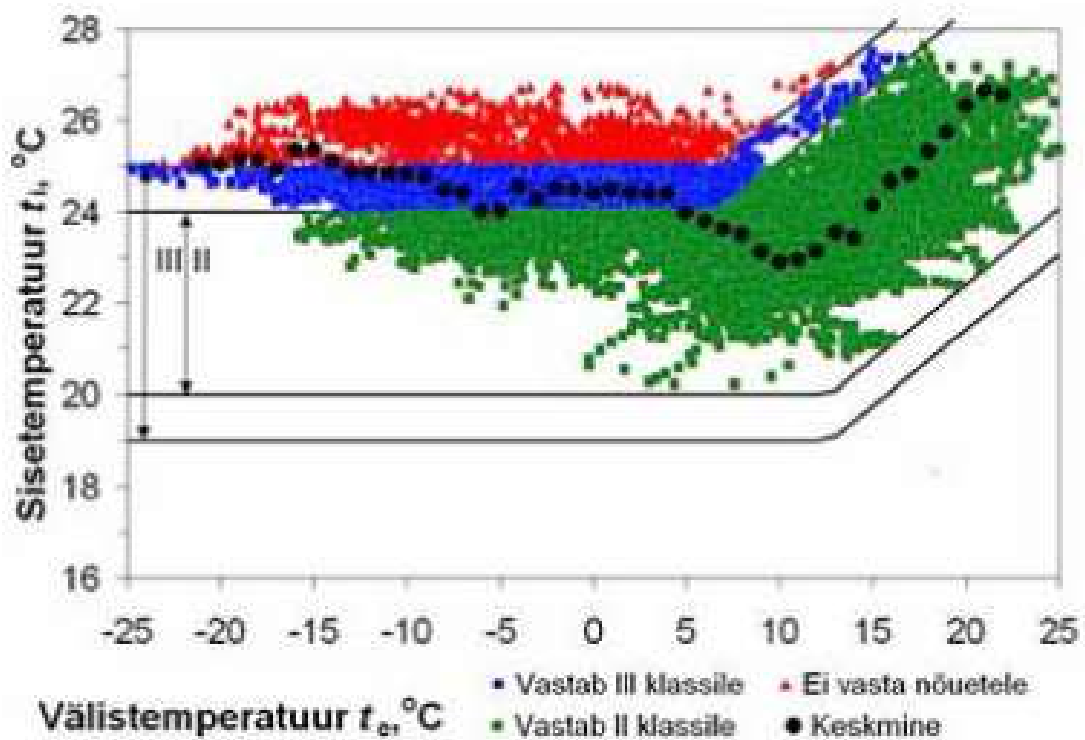
Korterite sisetemperatuuride vastavus standardis EVS-EN-15251:2007[6] väljatoodud soovituslikele väärtustele, annab võimaluse hinnata sisekliima kuuluvust vastavasse sisekliima klassi. Selle jaoks vaadatakse mitu protsenti ajast sisetemperatuur ületab standardis esitatud II ja III sisekliima klassis nõudeid. Telliskorterelamute uuringust [12] on näha, et 52% korterites ei vastanud sisetemperatuur III sisekliima klassi nõuetele ja 88% korterites II sisekliima klassi nõuetele.

Suurpaneelalamute uuringus ei vastanud korterite siseõhutemperatuur kütteperioodil III sisekliima klassi nõuetele 41% korteritest. Sisekliima II klassi nõuetele vastavat temperatuurivahemikku ületati 70% korterites [13]. Hruštšovkades läbi viidud uuringus vastas siseõhu temperatuur 98% ajast sisekliima III klassi nõuetele [19]. Läti uuringute keskmised temperatuurid jäid vahemikku +20,3°C kuni +23.5°C[18]. Sisetemperatuuri mõõtmistulemused vastasid sisekliima II klassi nõuetele. Leedus uuritud korteritest 43% kuulusid II sisekliima klassi[17]. Slovakkias läbi viidud uuringus jäid keskmised temperatuurid vahemikku 20,9°C kuni +22.5°C[35].

Joonisel 4 [12] ja 5 [12] on välja toodud mõõtmistulemused standardile hästi vastava korteri ja üleköetud korteri kohta[12].

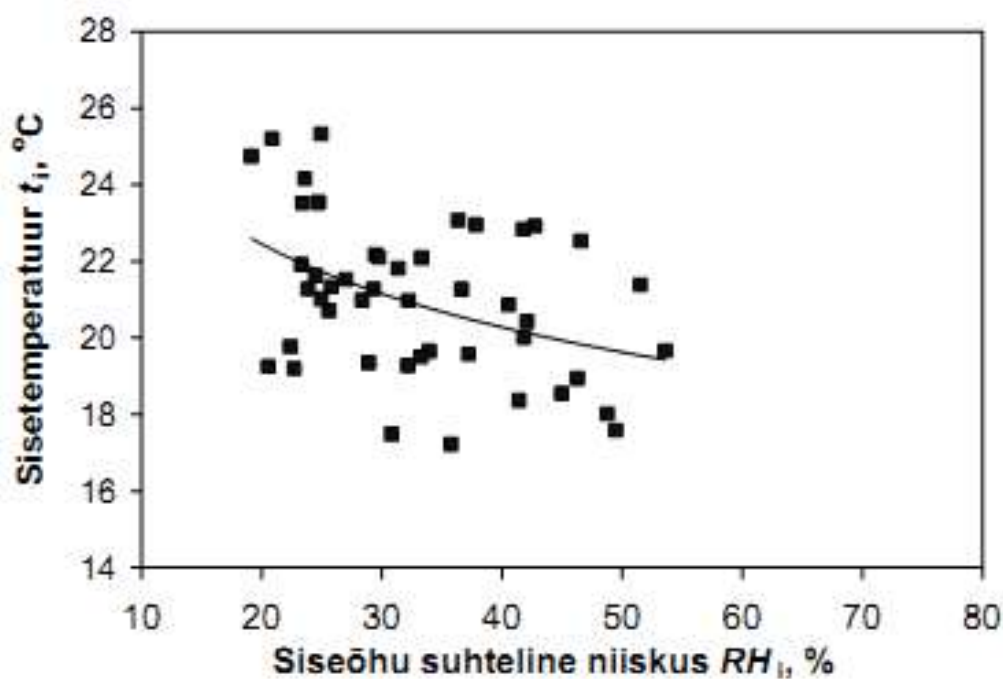


Joonis 4. Standardile vastava korteri sisetemperatuur [12]

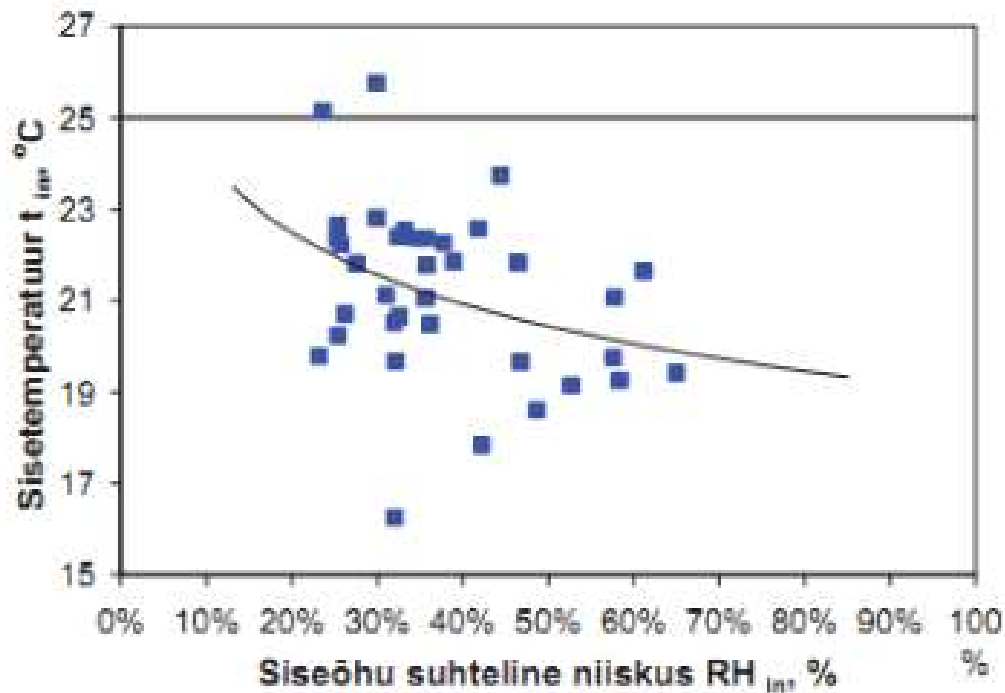


Joonis 5. Ülekõetud korteri sisetemperatuuri vastavus standardile [12]

Korterite suhteline õhuniiskus on erinevatel aastaaegadel erinev. Õhuniiskus sõltub paljudest teguritest- siseõhu temperatuur, välisõhu temperatuur, välisõhu õhuniiskus, niiskuslisa tootmisest, süsihappegaasi sisaldusest ja ventilatsioonist. Talvise perioodi keskmise suhtelise niiskuse sõltuvus sisetemperatuurist telliskorterelamutes ja suurpaneel-elamutes on toodud joonisel 6[12] ja 7[13].

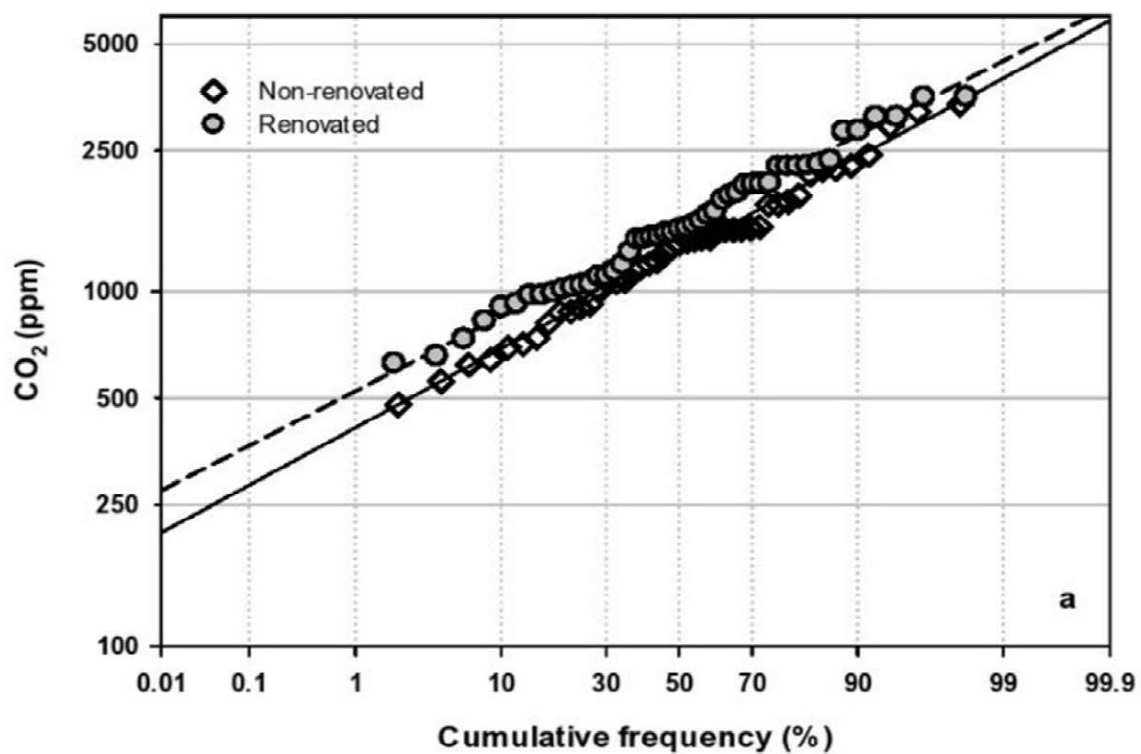


Joonis 6. Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus sisetemperatuurist telliselamutes [12]

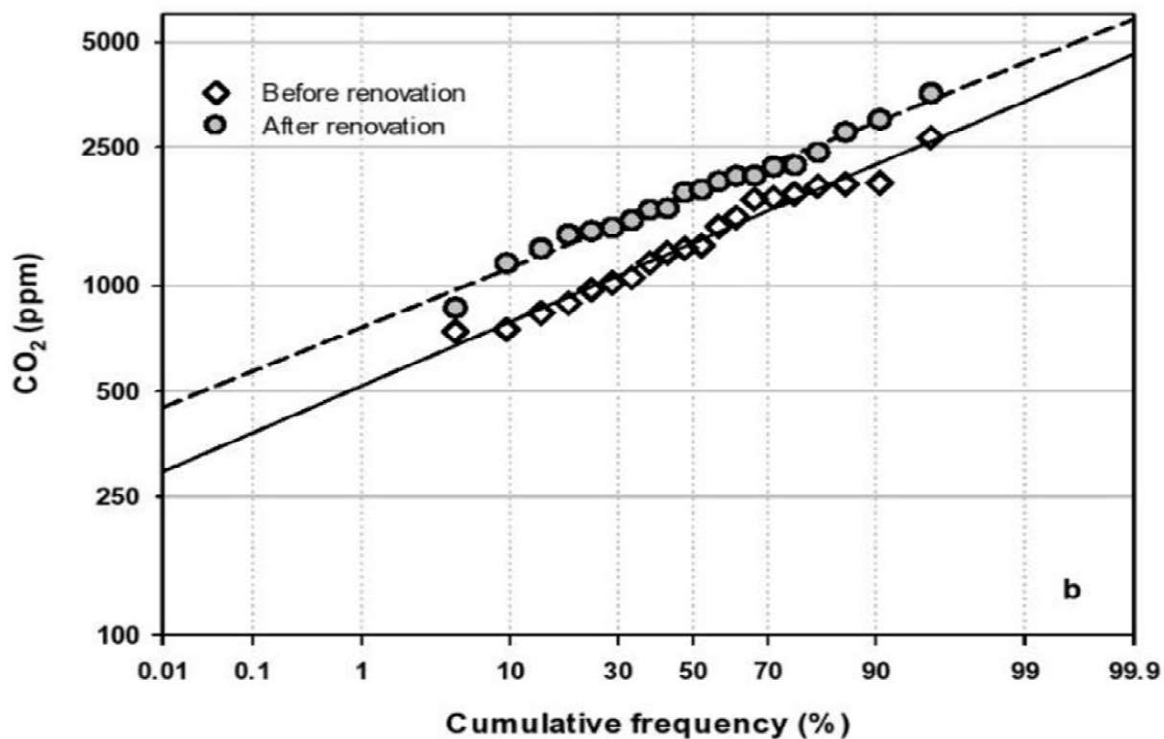


Joonis 7. Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus sisetemperatuurist suurpaneelelamutes [13]

Süsihappegaasi sisalduse hulka õhus mõjutavad mitmed tegurid, kas majale pannakse renoveerimise käigus lisasoojust või kas renoveeritakse ventilatsioonisüsteem. Samuti sellest kas on tegemist loomuliku ventilatsiooniga või sundventilatsiooniga. Sellekohaseid uuringuid on Eestis läbi viidud vähe. Põhjalikumaid uuringuid on läbi viidud meie lähiriikides Soomes ja Leedus. Lisaks sellele viidi süsihappegaasi sisalduse uuringud läbi Slovakkias, kus mõõdeti seda esimesel juhul sarnastes kortermajades, millest pooled olid renoveerimata ja pooled renoveeritud. Teisel juhul toimusid mõõtmised samas majas enne ja peale renoveerimist. Mõlemal juhul oli renoveeritud korterelamus süsihappegaasi sisaldus kõrgem, kuna renoveerimiste käigus jäeti renoveerimata ventilatsioon. Antud korterelamutes oli tegemist loomuliku ventilatsiooniga. Joonisel 8[35] ja 9 [35] on välja toodud Slovakkia süsihappegaasi uuringu tulemused.



Joonis 8. Slovakkia paarismajade süsihappegaasi sisalduse mõõtmistulemused[35]



Joonis 9. Slovakkias enne ja peale renoveerimist süsihappegaasi sisalduse mõõtmistulemused[35]

1.3.3 Varasema korterielanike küsitluse tulemused

Varasemalt on korterielanike seas ankeetküsitlust läbi viidud seoses telliskorterelamute uuringuga[12]. Selles uuringus oli keskmine elanike arv korteris oli 2,8 ja elamispinda 25 m² inimese kohta. Suurimaks siseõhu temperatuuriprobleemiks peeti ruumide temperatuuride erinevust, see oli probleemiks 58% vastanutest. Ligi pooled vastanutest nägid probleemi ebapiisavast temperatuuri reguleerimisvõimalusest. 70% vastanutest hindas korteri suhtelist õhuniiskust liiga kõrgeks ja täheldasid korterites erinevaid niiskuskahjustusi. Suurimaks ventilatsiooniprobleemiks oli 60% vastanute jaoks umbne õhk.

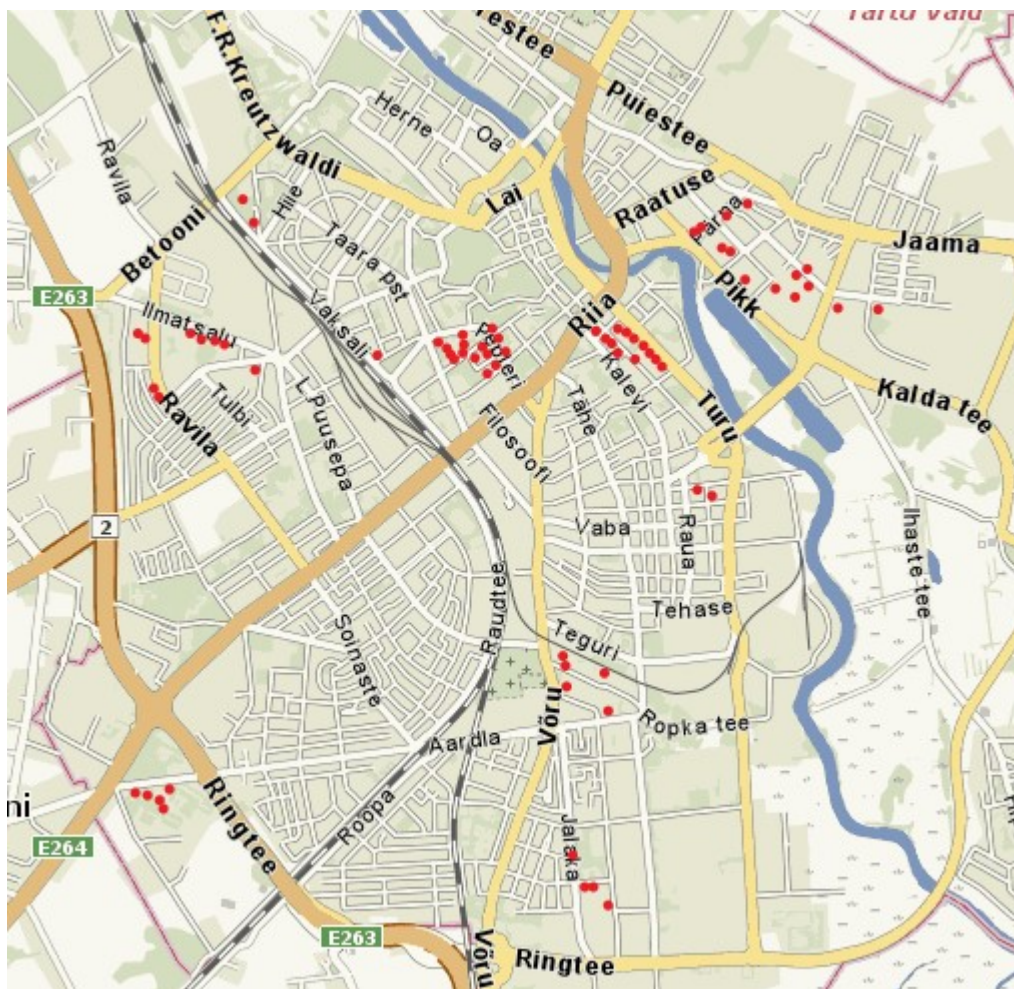
2. EHITUSFÜÜSIKALISTE MÕÕTMISTE METOODIKA

2.1 Uuritavate hoonete valik ja ülevaade renoveerimistest

Uuritavad hooned paiknevad Tartu linnas. Tartu sai valitud, kuna seal on palju juba renoveeritud ja hetkel renoveerimisel olevaid kortermaju. Seda siis tänu projektile SmartEnCity, kui ka korteriühistute omaalgatuslikult planeeritud renoveerimistele. Esialgselt oli kavas sisse võtta terve Tartu maakond, aga kuna Tartu linnas leidis piisavalt palju renoveeritud korterelamuid, ei olnud enam vajadust uuringusse kaasata tervet maakonda.

Magistritöö mõõtmistulemuste saamiseks oli eelnevalt vajalik leida sobivad objektid. Selle jaoks sai liigutud mööda Tartu linna ja kaardistatud võimalikult palju objekte, kus on hetkel toimumas või toimunud korterelamu renoveerimine. Kõige rohkem objekte võis leida Annelinna ja Kesklinna piirkonnas. Kesklinnas just peamiselt tänu projektile SmartEnCity, mille käigus renoveeritakse suur hulk kesklinna piirkonnas asuvaid 60-ndatel ehitatud kortermaju, nn“ hruštšovkasid“. Üldiselt leidis renoveeritavaid või juba renoveeritud korterelamuid üle terve Tartu linna. Kõige vähem hakkas neid silma Karlova linnaosas. Esialgse kaardistamise käigus, mis toimus 17 september kuni 21 september 2018, sai leitud umbes 50 objekti, hiljem lisandus üksikuid juurde. Magistritööks vajalikud mõõdistamised toimusid erinevates Tartu linnas renoveeritud korterelamutes. Mõõtmist alustati viie korterelamu kuues korteris. Andmesalvestajad said mõõtma pandud Annelinnas, Ränilinnas ja Ülejõe linnaosas.

Joonisel 10 on kaardile märgitud uuringute alustamise jaoks vajalikke objektide kaardistamise tulemused. Kindlasti ei ole sellel kaardil kõiki Tartu linna juba renoveeritud ja renoveerimisel olevaid korterelamuid, sest selle jaoks tuleks sõita peaaegu kõik tänavad üksipulgi läbi ning antud töö kirjutamise ajaks on kindlasti lisandunud juba uusi objekte.



Joonis 10. Tartu linna renoveeritud ja renoveerimisel olevad hooned[23]

Hoonete valik mõõtmiste alustamiseks sai tehtud juhuslikkuse alusel. Lõplikul valikul mängis olulist rolli korteriühistute ja korteriomanike hea koostöö ning vastutulek. Kõikides korterites kus mõõtmised toimusid, olid väga abivalmis elanikud ja andsid suure panuse mõõtmiste läbiviimisele ning sellega ka lõputöö valmimisele. Kokku toimusid mõõdistamised 5-s korterelamus, nendest 6-s korteris.

Valitud hooned on erineva korruselisusega: kolme- ja viiekorruselised, ning erinevatest välisseinamaterjalidest: silikaattellistest, gaasbetoonist suurplokkidest või raudbetoonpaneelidest. Kõikides välja valitud hoonetes oli kas renoveerimine just lõppenud või renoveeritud viimase paari aasta jooksul. Valikust jäid välja korterelamud, milles on renoveerimine toimunud rohkem kui viis aastat tagasi, vältimaks renoveerimise tulemuste ebaühtlust seoses materjalide kaasaegsusele ja omaduste parandamisele. Hoonetel, kus mõõtmised said läbi viidud oli kõikidel renoveeritud ja soojustatud fassaad ning pööning. Kõikidel olid vahetatud katused, seda juba kas eelnevalt või renoveerimise

käigus. Korterelamutel vahetati välja nii korterite kui ka trepikoja aknad, isegi siis kui olid ees juba kaasaegsed aknad. Korteritesse paigaldati sundventilatsioon ja vahetati välja kogu maja küttesüsteem.

Tabelis 11 on välja toodud valitud korterelamute koondülevaade. Selles on ülevaade korterelamute põhiandmetest: hoonete korruselisus, välisseina materjal, valitud korterite arv, korterite koguarv, valmimise aasta ja mahud. Tabeli koostamisel on kasutatud ehitusregistri andmeid[22].

Uuringust osalevatest korteritest asusid esimesel korrusel korterid KE3-2 ja KE4. Viiendal korrusel asus korter KE2. Korterid KE3-1 ja KE1 olid kolmandal korrusel ja KE5 teisel korrusel. Korter KE4 paiknes korterelamu otsaseina juures. Teised korterid paiknesid kõik maja keskel.

Tabel 11. Uuringus osalevate korterelamute koondülevaade

Objektid	KE1	KE2	KE3	KE4	KE5
Korruste arv	5	5	5	3	5
Korterite arv	54	85	60	24	60
Uuritavate korterite arv	1	1	2	1	1
Hoone valmimise aasta			1965	1974	1970
Välisseina materjal	silikaattellis	silikaattellis	raudbetoon-paneel	silikaattellis	silikaattellis
Ehitusalune pindala (m2)	1480	1076	675	656	1061
Korterite pindala (m2)	5518,6	5357,2	3518,8	2343,7	3584,5
Hoone maht (m3)	19153	19504	10636	7913	17206

2.2 Sisekliima parameetrid

Korterite sisemise temperatuuri (T), suhtelise õhuniiskuse (RH) ja süsihappegaasi (CO₂) mõõtmiseks ja salvestamiseks oli kasutusel Rotronic CL11 andmesalvestajad. Tabelis 12 on välja toodud andmesalvestaja Rotronic CL11 mõõtevahemikud ja mõõtmistäpsused.

Tabel 12. Andmesalvestaja Rotronic CL11 tehnilised andmed[20]:

Mõõtevahemik	Mõõtmistäpsus
T: -20...60°C	T: ±0.3 °K
RH: 0...100%	RH: <2.5 %RH (10...90 %RH)
CO ₂ : 0...5000ppm	CO ₂ : ±30 ppm ±5 % mõõtmistulemusest

Joonisel 11 on välja toodud andmesalvestaja Rotronic CL11[20].



Joonis 11: Andmesalvestaja Rotronic CL11 eestvaade[20]

Sisekliima parameetreid mõõdetakse igas korteris ühe andmesalvestiga. Seade on paigaldatud elutuppa 0,8-1,5 meetri kõrgusele ja võimalikult toa keskele. Seade peab olema eemal otsestest soojusallikatest nagu küttekeha, päikesekiirgus või valgustid. Andmesalvestid on pandud tulemusi salvestama iga 30 minuti tagant ja minimaalselt 3 kuud.

2.2 Korterialanike küsitlus

Kõikides korterites, kus uuringud toimusid, viidi elanike seas läbi ankeetküsitlus. Küsitluse eesmärk on saada korterialanike hinnang kuidas nad ennast muutunud sisekliimas tunnevad või kas nad märkavad üldse muutusi. Samuti ka renoveerimise järel tekkinud probleemidest. Küsitluse läbiviimiseks on kasutatud varasemate kortermajade uuringu ankeeti[12]. Küsimused jagunevad järgmistesse gruppidesse:

- 1) Siseõhu temperatuur suvel ja talvel
- 2) Siseõhu kvaliteet suvel ja talvel
- 3) Kütte- ja ventilatsiooniseadmete probleemid

3. MÕÕTMISTE TULEMUSED

3.1 Korterite sisetemperatuur

Korterite sisetemperatuuri mõõtmine andmesalvestajaga toimus ajavahemikus 22.10.2018 kuni 4.03.2019.

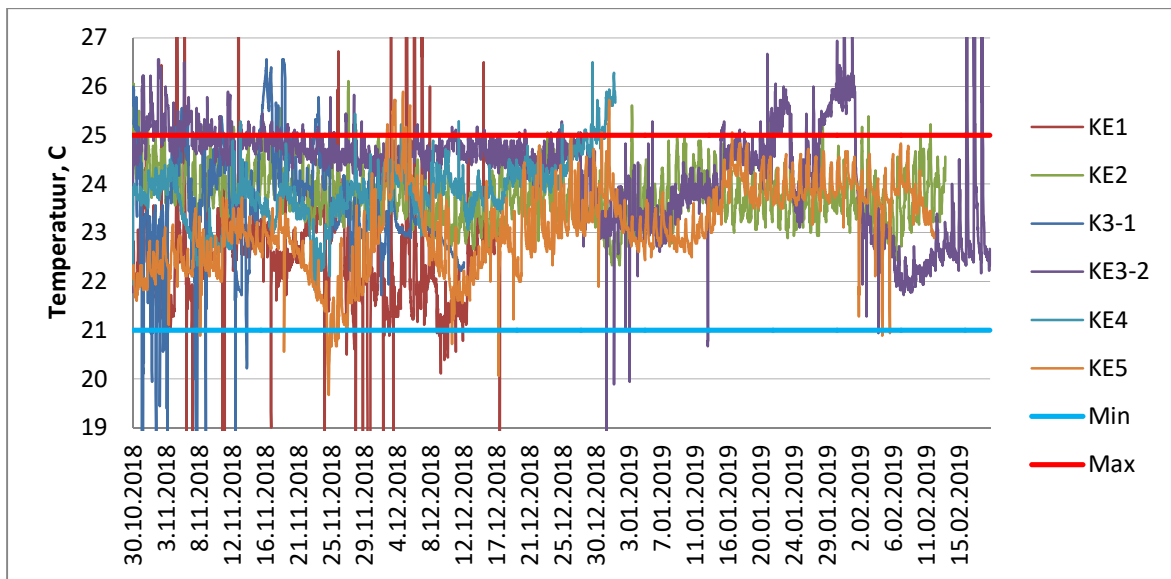
Uuringud toimusid korterelamutes kütteperioodil. Keskmise siseõhu temperatuur mõõtmisperioodil oli +23,9 °C. Temperatuuri kõikumine kõikide korterite peale oli +11,4°C kuni +32,9°C. Minimaalne keskmine temperatuur oli +22,5°C ja maksimaalne keskmine temperatuur oli +24,3°C. Minimaalse temperatuuri keskmine oli +18,2°C ja maksimaalse temperatuuri keskmine oli +29,4°C. Tabelis 13 on välja toodud soovituslikud sisetemperatuuri väärtused ja korterite sisetemperatuuri keskmised väärtused mõõteperioodi jooksul.

Tabel 13. Mõõdetud sisetemperatuuri keskmised väärtused korterites:

Parameeter	Soovituslikud väärtused	Mõõtmise keskmine väärtus					
		KE1	KE2	KE3-1	KE3-2	KE4	KE5
Temperatuur, °C	21-25	22,5	23,8	24,2	24,3	24	22,6

Nagu tabelist võib näha, jäävad kõikide korterite sisetemperatuuri keskmised soovituslike väärtuste piiridesse.

Joonisel 12 on toodud temperatuuri kõikumised uuritavates korterites mõõtmisperioodi jooksul. Lisaks on joonisel minimaalse ja maksimaalse soovitusliku sisetemperatuuri väärtuste piirid.



Joonis 12: Uuritavate korterite sisetemperatuuri kõikumised mõõteperioodil

Nagu jooniselt näha on sisetemperatuuri kõikumine osades korterites kohati väga suur. Selline kõikumine üle lubatud ülemise piiri võib tulla näiteks ruumi ülerahvastatusest, sest iga ruumis viibiv inimene eraldab soojust ja kui ruumis viibib korraga palju inimesi, hakkab ruumi sisetemperatuur järk järgult tõusma. Kõikumine alumisest piirväärtusest allapoole võib olla tingitud ruumide lisaventileerimisest akende kaudu. Näiteks inimesed avavad selleks ajaks akna kui mõneks ajaks kodust lahkuvad, et ruume tuulutada. Elanike jaoks on mugav sisetemperatuur väga personaalne, sellest tulenevalt on ka korterite temperatuurid väga erinevad.

Korterite asukoht korterelamus pole renoveerimise järgselt mõõtmise tulemusi oluliselt mõjutanud. Korterites KE3-2 ja KE4 mis paiknesid esimesel korrusel on siseõhu temperatuur üle mõõtmistulemuste keskmise. Korter KE4 paiknes veel hoone otsas. Teised korterid paiknesid hoonete keskel.

Mõõtmistulemustest on näha, et üldiselt on korterite soovituslikku vahemikku kuulumise protsent küllaltki suur, neljas korteris ületab see 94% piiri. Natuke madalam on see protsent kahes korteris, mis kuuluvad ühte korterelamusse, kus siseõhu temperatuur ületab kohati soovituslike väärtusi. Peale renoveerimist esines kohati korterites endiselt alakütmist, aga seda ainult 50% korterites ja protsentuaalselt oli madalal õhutemperatuuril viibitud aeg suhteliselt väike. Kõige suurema alakütmise perioodiga korteri temperatuur alla 21 kraadi oli kogu perioodist 4,9%. Suuremaks probleemiks oli aga korterite ülekütmine. Ülekütmist esines 100% korterites. Kõige suuremad ülekütmised mõõdeti ühes

ja samas korterelamus, kus siis üle 25 kraadine temperatuur kogu perioodi jooksul, oli KE3-1 20,9% ja KE3-2 15,2%. Teistes korterelamutes jäi see protsent alla 5%. Tabelis 14 on välja toodud kogu mõõteperioodi protsentuaalne ajaline kuuluvus erinevatesse soovituslike sisetemperatuuri vahemikku.

Tabel 14 Korterite ajaline kuuluvus soovituslike sisetemperatuuri väärtuste vahemikku kogu mõõteperioodil protsentides.

Parameeter	Soovituslike väärtuste vahemik	KE1	KE2	KE3-1	KE3-2	KE4	KE5
Temperatuur, °C	< 21	3,7	0	2,5	0,2	0	4,9
	21-25	94	98,7	76,6	84,6	95,8	94,5
	> 25	2,3	1,3	20,9	15,2	4,2	0,6

Varasemate uuringutega (tabel 8) võrreldes käesoleva uuringuga (tabel 13) näeme, et korterite keskmine siseõhu temperatuur on tõusnud +21,1 kraadi pealt enne renoveerimist, +23,9 kraadi peale renoveerimise järgselt. See teeb keskmise temperatuuri tõusuks 2,8 kraadi. Samuti võime näha et tõusnud on korterite siseõhu maksimaalsed temperatuurid. Võrdlusena võib tuua välja Leedu ja Soome [16] samalaadsed uuringud. Leedus oli enne renoveerimist keskmine siseõhu temperatuur 19,5 kraadi ja peale renoveerimist 20,4 kraadi. Soomes aga oli enne renoveerimist keskmine siseõhu temperatuur 22,7 kraadi, peale renoveerimist aga 22,6 kraadi. Mis teeb siis keskmise temperatuuri tõusuks vastavalt +0,9 kraadi Leedus ja -0,1 kraadi Soomes. Siinkohal tuleb aga ära märkida, et Leedus ja Soomes viidi enne renoveerimist ja peale renoveerimist uuringud läbi täpselt samades korterelamutes ja tingimustes. Slovakkia uuringus [35] olid keskmised siseõhu temperatuurid enne renoveerimist 21,5 kraadi ja 20,9 kraadi ja peale renoveerimist siis vastavalt 22,5 kraadi ja 22,2 kraadi. Keskmine temperatuur vahe oli esimesel juhul +1,0 kraadi ja teise variandi puhul tõusis +1,3 kraadi.

3.2 Korterite suhteline õhuniiskus

Korterite suhtelise õhuniiskuse andmete salvestamine andmesalvestajaga toimus ajavahemikus 22.10.2018 kuni 4.03.2019.

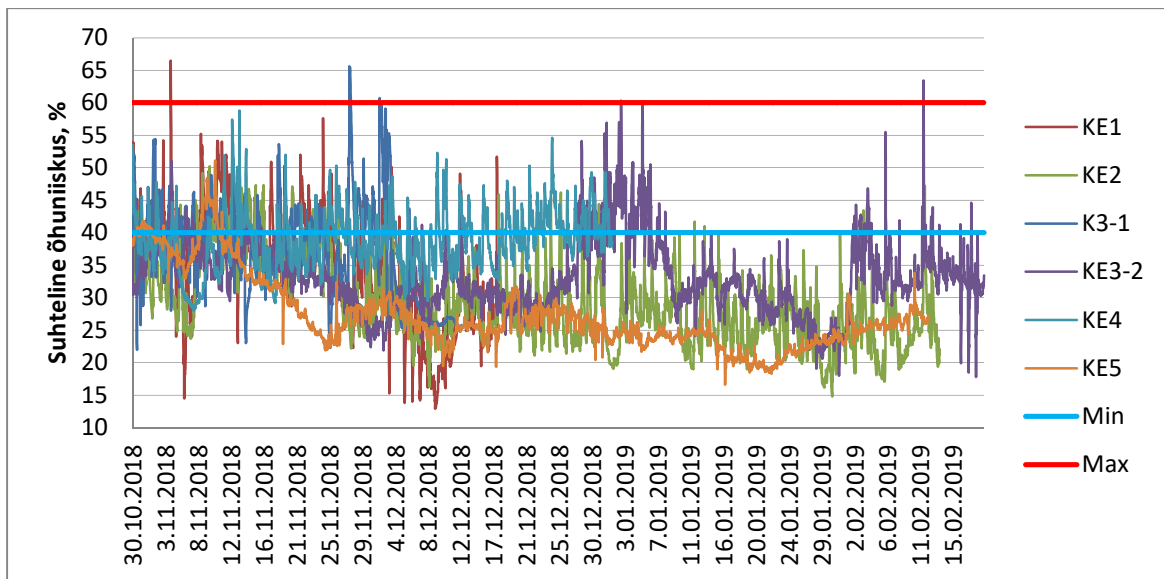
Keskmine suhteline õhuniiskus mõõteperioodil oli 34,5%. Suhtelise õhuniiskuse kõikumine korterite peale oli 12,9% kuni 66,5%. Minimaalne keskmine suhteline õhuniiskus oli 29,2% ja maksimaalne oli 39,5%. Minimaalse suhtelise õhuniiskuse keskmine oli 20,5% ja maksimaalse keskmine oli 57,9%. Tabelis 15 on välja toodud suhtelise õhuniiskuse soovituslikud väärtused ja korterite suhtelise õhuniiskuse keskmised väärtused mõõteperioodi jooksul.

Tabel 15. Mõõdetud suhtelise õhuniiskuse keskmised väärtused korterites:

Parameeter	Soovituslikud väärtused	Mõõtmise keskmine väärtus					
		KE1	KE2	KE3-1	KE3-2	KE4	KE5
Suhteline õhuniiskus, %	40-60	34,1	29,2	39,5	33	38,1	31,4

Nagu tabelist selgub, ei mahu ühegi uuritud korteri suhtelise õhuniiskuse keskmine väärtus soovituslikke väärtuste vahemikku. Kõige parem on olukord KE3-1 kus erinevus alumise piiriga on ainult 0,5%.

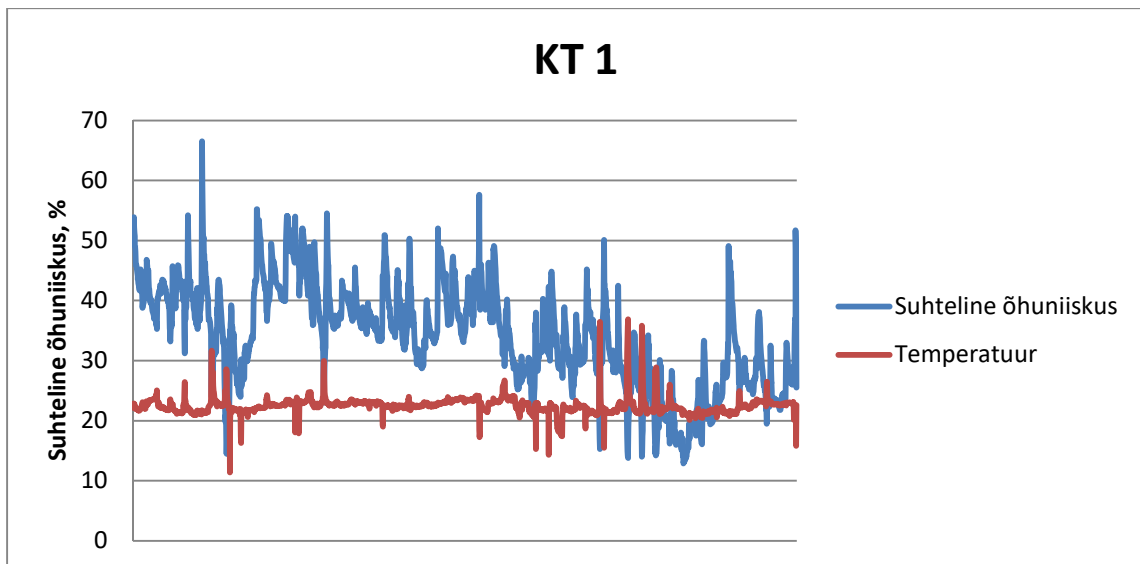
Joonisel 13 on toodud suhtelise õhuniiskuse kõikumised uuritavates korterites mõõtmisperioodi jooksul. Lisaks on joonisel minimaalse ja maksimaalse soovitusliku õhuniiskuse väärtuste piirid.



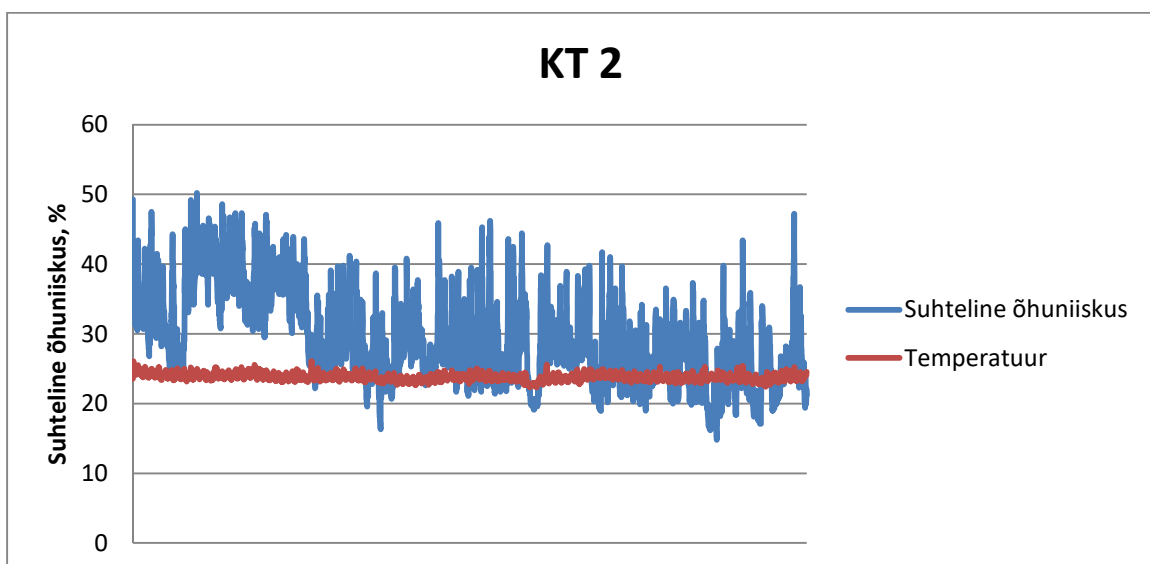
Joonis 13: Uuritavate korterite suhtelise õhuniiskuse kõikumised mõõteperioodil

Nagu jooniselt näha, siis kütteperioodi alguses on enamustes mõõtmises osalevates korterites olnud suhteline õhuniiskus soovituslike väärtuste piirides. Kütmisperioodi jooksul tekib kuiva õhu probleem, kuna temperatuuri tõusmisel langeb suhteline õhuniiskus korterites. Madala suhtelise õhuniiskuse peamiseks põhjuseks on kaugküte. Keskkütte radiaatoritega korterites on harilikult madalam õhuniiskus.

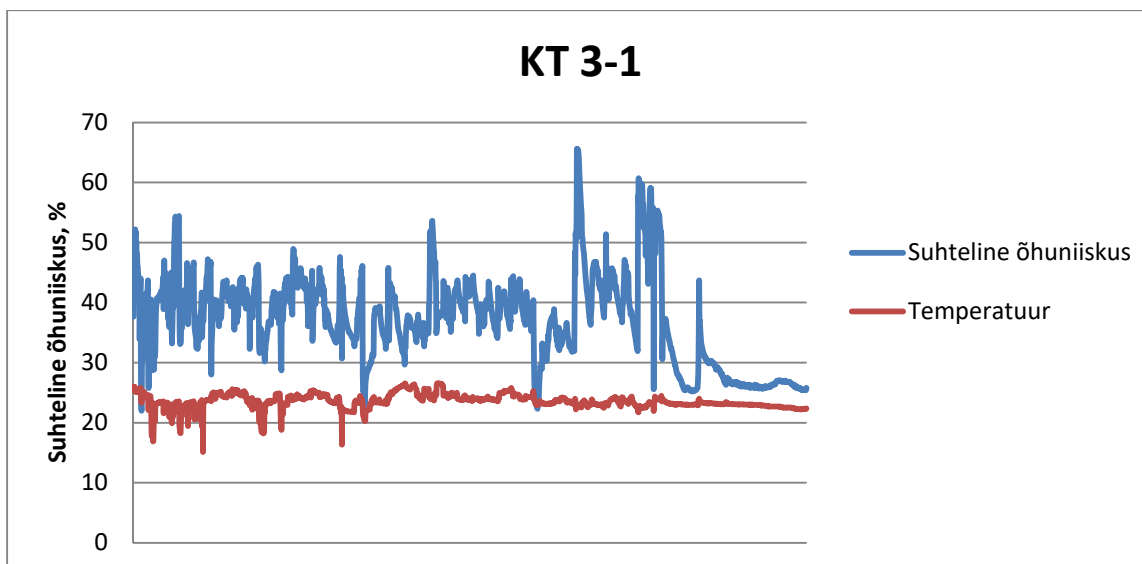
Samas sõltub ka suhtelise õhuniiskuse tase ruumis viibivate inimeste arvust ja ka inimeste tegevustest, näiteks pesemine, toidu valmistamine jne. Mida rohkem viibib ruumis inimesi, seda kõrgemaks õhuniiskuse tase tõuseb. Joonistel 14- 19 on välja toodud korterite kaupa suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri vaheline graafik.



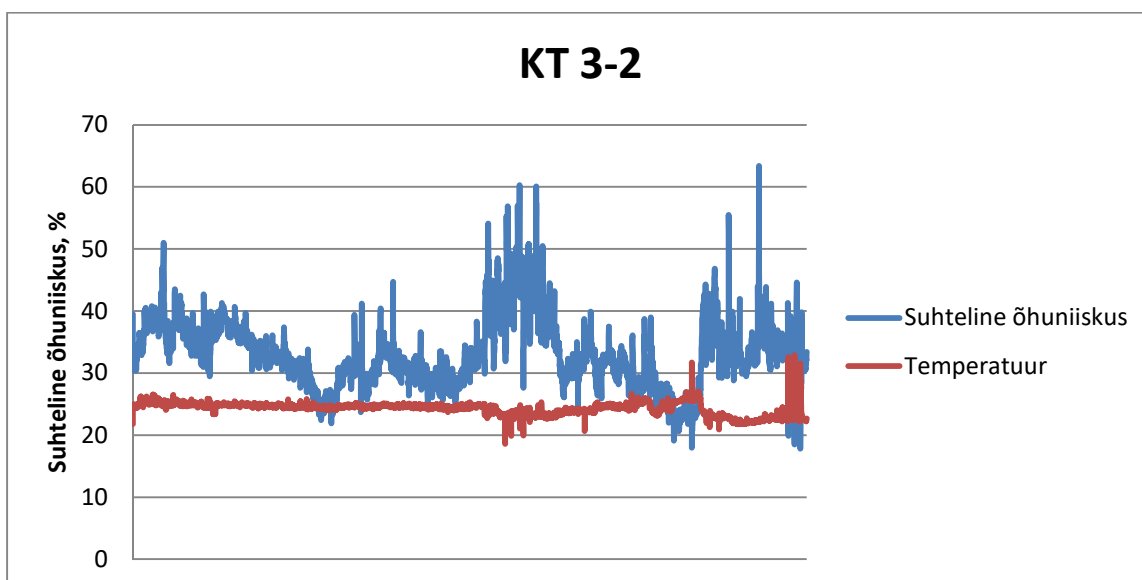
Joonis 14: Korteri KT 1 suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri vaheline graafik



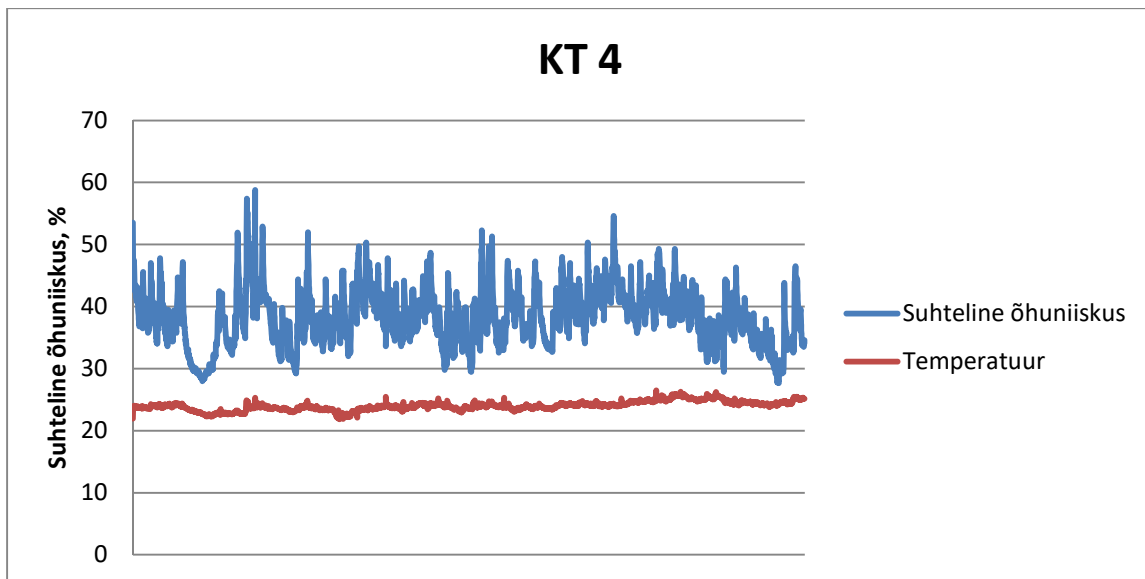
Joonis 15: Korteri KT 2 suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri vaheline graafik



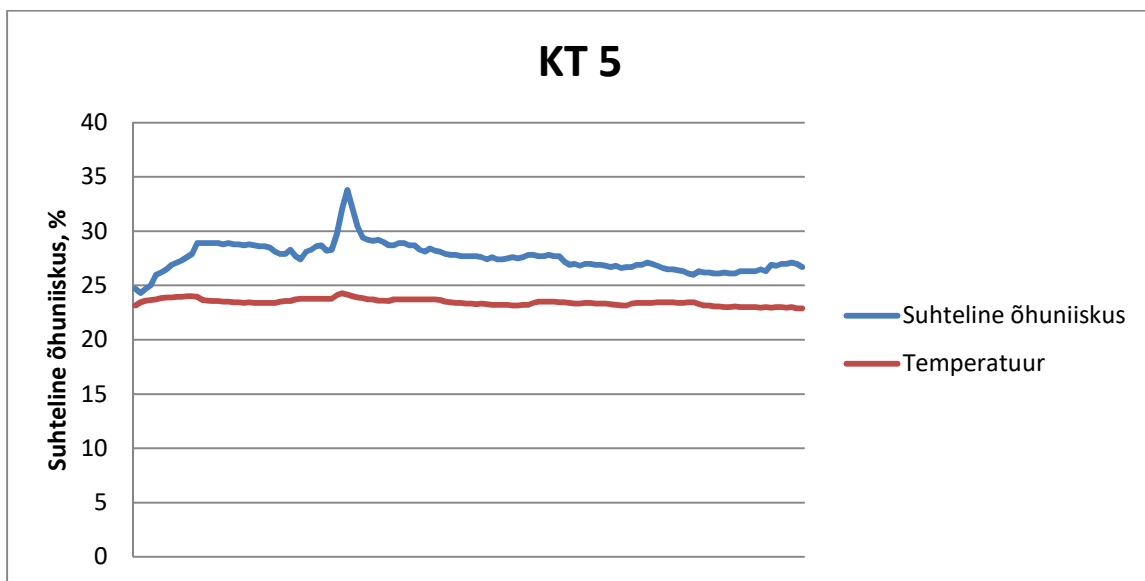
Joonis 16: Korteri KT 3-1 suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri vaheline graafik



Joonis 17: Korteri KT 3-2 suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri vaheline graafik



Joonis 18: Korteris KT 4 suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri vaheline graafik



Joonis 19: Korteris KT 5 suhtelise õhuniiskuse ja temperatuuri vaheline graafik

Jooniste pealt on selgelt näha, et siseõhu temperatuuri tõustes suhtelise õhuniiskuse tase ruumis langeb ja vastupidi.

Peale renoveerimist on uuritavate korterite suhtelise õhuniiskuse tase suurema osa ajast alla soovitusliku väärtuse minimaalse piiri. Kõige suuremaks probleemiks on see korterites KT 2 ja KT 3-2, kus korterid viibivad suhtelise õhuniiskuse minimaalsest piirist allpool üle 90 % mõõtmiste perioodi ajast. Korteris KT 3-1 on aga olukord kõige parem, soovitatava

väärtuste vahemikus ja alla soovitatava vahemiku viibimise protsent on peaaegu võrdne, vastavalt siis 47,5 % ja 52,5 %. Tabelis 16 on välja toodud korterite kogu mõõteperioodi protsentuaalne ajaline kuuluvus erinevatesse suhtelise õhuniiskuse sisalduse vahemikkudesse. Soovituslik suhtelise õhuniiskuse vahemik on 40-60 %.

Tabel 16 Korterite ajaline kuuluvus soovituslike siseõhu suhtelise niiskuse väärtuste vahemikku kogu mõõteperioodil protsentides.

Parameeter	Soovituslike väärtuste vahemik	KE1	KE2	KE3-1	KE3-2	KE4	KE5
Suhteline	< 40	72,4	92,8	52,2	90,8	66,7	75,3
õhuniiskus,	40-60	27,6	7,2	47,5	9,1	33,3	24,7
%	> 60	0	0	0,3	0,1	0	0

Nagu tabelist näha, on uuringus osalevate korterite viibimise protsent soovituslike väärtuste piirides küllaltki madal. Kõige paremaks võib lugeda korteri KE 3-1 tulemust, mis on peaaegu pool kogu mõõtmisperioodi ajast.

Varasemate uuringutega (tabel 9) võrreldes käesoleva uuringuga (tabel 16) näeme, et korterite keskmine suhteline õhuniiskus on langenud 40 % pealt enne renoveerimist 34,5% peale renoveerimise järgselt. See teeb keskmise suhtelise õhuniiskuse vähenemiseks 5,5%. Samuti on langenud korterite õhuniiskuse maksimaalne tase. Võrdlusena võib tuua välja Leedu ja Soome [16] samalaadsed uuringud. Leedus oli enne renoveerimist keskmine suhteline õhuniiskus 43,4% ja peale renoveerimist 48,7%. Soomes aga oli enne renoveerimist keskmine suhteline õhuniiskus 27%, peale renoveerimist aga 29%. Mis teeb siis keskmise õhuniiskuse tõusuks vastavalt 5,3% Leedus ja 2% Soomes. Leedu suhtelise õhuniiskuse tõusu põhjuseks on see, et seal soojustati korterelamud aga jäeti renoveerimata ventilatsioon. Soome korterelamutes renoveeriti aga ventilatsioon, sellest tulenevalt jäi ka suhtelise õhuniiskuse tase suhteliselt samale tasemele. Võrreldes Eesti uuringute õhuniiskuse mõõtmistulemustega on Soomes keskmine suhteline õhuniiskus peale renoveerimist natuke tõusnud. Leedus oli see nii enne renoveerimist kui renoveerimise järgselt soovituslike väärtuste vahemikus. Siinkohal tuleb ära märkida, et Leedus ja Soomes viidi enne renoveerimist ja peale renoveerimist, uuringud läbi täpselt samades korterelamutes ja tingimustes. Slovakkias[35] läbi viidud uuringus(tabel10) oli esimese

variandi puhul renoveeritud ja renoveerimata majades suhtelise õhuniiskuse keskmine kortermajades võrdselt 46 % tasemele. Teise variandi puhul oli enne renoveerimist õhuniiskus 46% ja peale renoveerimist 48%, mis näitab et muutus oli minimaalne.

3.3 Korterite süsihappegaasi sisaldus

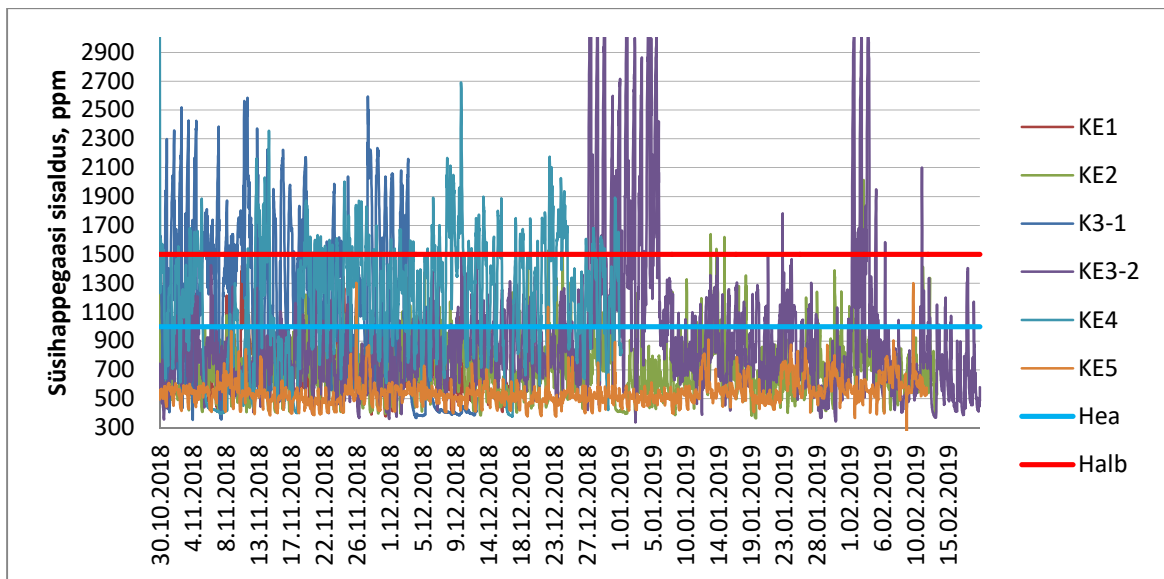
Korterite süsihappegaasi sisalduse mõõtmine siseõhus andmesalvestajaga toimus ajavahemikus 22.10.2018 kuni 4.03.2019.

Keskmine süsihappegaasi tase mõõteperioodil oli 769 ppm. Süsihappegaasi sisalduse kõikumine korterite peale oli 336 ppm kuni 5804 ppm. Minimaalne keskmine süsihappegaasi sisaldus oli 539 ppm ja maksimaalne keskmine tase oli 1235 ppm. Minimaalse süsihappegaasi keskmine sisaldus oli 365 ppm ja maksimaalse sisalduse taseme keskmine oli 2956 ppm. Tabelis 17 on välja toodud süsihappegaasi sisalduse soovituslikud väärtused ja korterite süsihappegaasi taseme keskmised väärtused mõõteperioodi jooksul.

Tabel 17. Mõõdetud süsihappegaasi sisalduse keskmised väärtused korterites:

Parameeter	Soovituslikud väärtused	Mõõtmise keskmine väärtus					
		KE1	KE2	KE3-1	KE3-2	KE4	KE5
Süsihappegaasi sisaldus CO ₂ , ppm	< 1000	683	680	1235	904	1115	539

Hea siseõhu kvaliteedi piiriks loetakse 1000 ppm, ning halva siseõhu kvaliteedi piiriks 1500 ppm [7]. Nagu tabelist näha, jäävad 2/3 korteri keskmine süsihappegaasi sisaldus hea siseõhu kvaliteedi piiridesse. Samas ei ületa ka ülejäänud 1/3 korterites keskmine süsihappegaasi tase halva siseõhu kvaliteedi piiri. Korteri KE 3-1 kõrgem süsihappegaasi tase on ilmselt tingitud sellest, et tegemist oli 1 toalise korteriga ja sama ruumi kasutati ka magamiseks. Korter KE 4 oli aga kõige suurema elanike arvuga korter ja korter KE5 kõige väiksema elanike arvuga korter, mis uuringus osales. Joonisel 20 on toodud süsihappegaasi sisalduse kõikumised uuritavates korterites mõõtmisperioodi jooksul. Lisaks on joonisel hea ja halva siseõhu kvaliteedi väärtuste piirid.



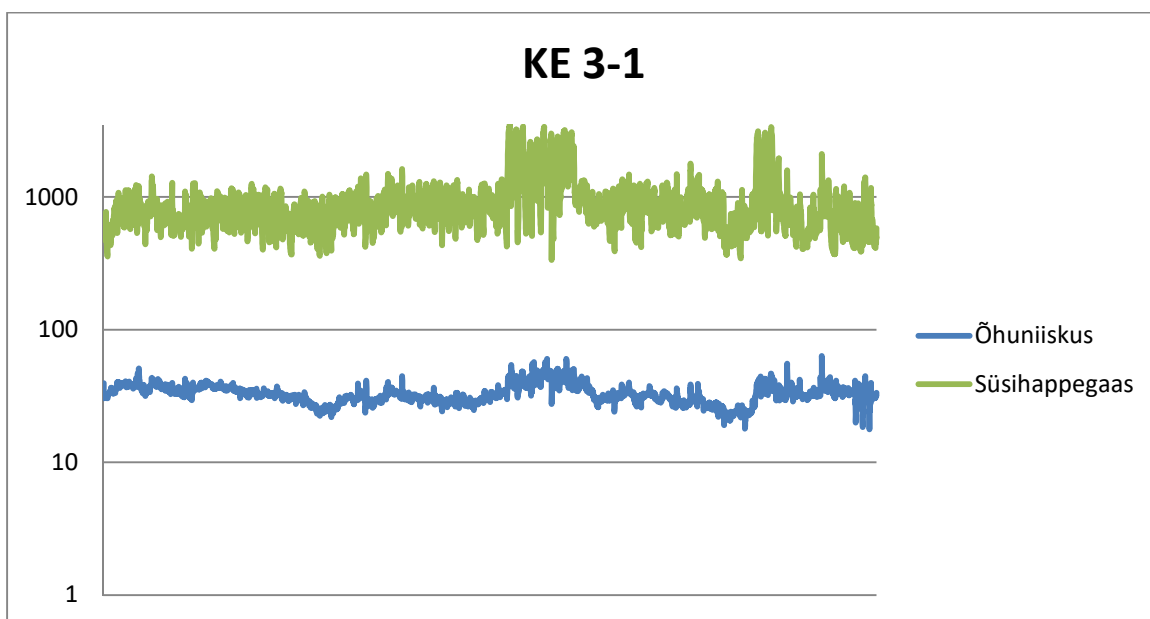
Joonis 20: Uuritavate süsihappegaasi sisalduse kõikumised mõõteperioodil

Nagu jooniselt näha, on enamustes korterites süsihappegaasi sisaldus suurema osa ajast hea siseõhu kvaliteedi piirides. Korteris KE 3-2 on näha kahel korral süsihappegaasi suurenenud taset, tegemist oli perioodiga, kui korteri elanikel viibisid külas lapselapsed ning ruumi kasutati ööbimiseks. Kuuest korterist neljas esines mõõtmisperioodi jooksul ekstreemseid kõikumisi, kus süsihappegaasi tase ületas halva siseõhu kvaliteedi piiri. Kõige rohkem ületas halva siseõhu kvaliteedi piiri korter KE 3-1, mille ruumi süsihappegaasi sisaldus oli 27,7% ajast üle 1500 ppm. Kõige vähem neljast ületanud korterist ületas halva siseõhu piiri korter KE 2, kus vastav näit oli 0,2% kogu mõõtmisperioodist. Enamikes korterites oli süsihappegaasi sisaldus mõõdetaval perioodil üle 80% ajast alla 1500 ppm. Üle 90% ajast oli süsihappegaasi tase alla 1000 ppm koguni kolmel korteril. Tabelis 18 on välja toodud korterite kogu mõõteperioodi protsentuaalne ajaline kuuluvus hea ja halva siseõhu kvaliteedi piiridesse.

Tabel 18 Korterite ajaline kuuluvus hea ja halva siseõhu süsihappegaasi sisalduse väärtuste vahemikku kogu mõõteperioodil protsentides.

Parameeter	Soovituslike väärtuste vahemik	KE1	KE2	KE3-1	KE3-2	KE4	KE5
Süsihappegaasi sisaldus, ppm	< 1000	95,1	94,8	39	74,2	41,1	99,9
	< 1500	100	99,8	72,3	93,6	81,6	100
	> 1500	0	0,2	27,7	6,4	18,4	0

Tulemusi analüüsides selgus, et lisaks siseõhu temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse omavahelisele seosele on seotud ka ruumi süsihappegaasi sisaldus ja õhuniiskus. Mida suurem on süsihappegaasi sisaldus, seda kõrgem on ka ruumi suhteline õhuniiskus ehk mida rohkem inimesi ruumis viibib ja mida intensiivsem on tegevus, seda kõrgemad on mõlemad parameetrid. Kõige kõrgemate keskmiste süsihappegaasi ja õhuniiskuse mõõtmisandmetega oli korter KE 3-1. Korterite keskmine süsihappegaasi sisaldus mõõtmisperioodil oli 1235 ppm ja suhteline õhuniiskus 39,5 %. Joonisel 21 on välja toodud korteri KE 3-1 süsihappegaasi ja suhtelise õhuniiskuse vaheline graafik.



Joonis 21: Korterite KE 3-1 suhtelise õhuniiskuse ja süsihappegaasi sisalduse vaheline graafik mõõtmisperioodil

Jooniselt 21 on näha, et mõõdetud parameetrid muutuvad sünkroonselt. Samuti loeme välja, et mida madalam on ruumi üldine süsihappegaasi sisaldus, seda väiksemad kõikumised toimuvad ka ruumi õhuniiskuse sisalduses.

Varasemate uuringutega võrreldes (tabel 10) näeme, et võrreldes Slovakkia korterelamute süsihappegaasi keskmisega 1180 ppm ja 1205 ppm on antud uuringu keskmine 769 ppm sisaldus palju madalam. Slovakkia[35] uuringus oli esimese variandi puhul renoveerimata kortermajas süsihappegaasi keskmine sisaldus 1180 ppm ja renoveeritud majas 1380 ppm. Mis näitab et renoveeritud majas oli süsihappegaasi sisaldus korterites 200 ppm võrra kõrgem. Teise variandi puhul oli enne renoveerimist sisaldus 1205 ppm ja peale renoveerimist 1570, mis teeb süsihappegaasi sisalduse tõusuks +365 ppm. Slovakkia korterelamute süsihappegaasi tõusu põhjuseks võib lugeda seda, et majale paigaldati lisasoojustus, st muudeti tihedamaks, aga renoveerimata jäeti ventilatsioonisüsteemid. Antud majades oli loomulik ventilatsioon.

3.4 Mõõdetud parameetrite sisekliima klassidesse kuuluvus

Lisaks soovituslikele sisekliima parameetrite väärtustele kuuluvad parameetrid veel erinevatesse klassidesse. Uuritavate korterites valitseva sisekliima jaotamiseks klassidesse on mõõdetud kolme parameetrit: siseõhu temperatuur, suhteline õhuniiskus ja süsihappegaasi sisaldus. Vastavaid sisekliima parameetreid ei tohiks ületada rohkem kui 3% kasutusajast. Analüüsi aluseks on võetud, et mõõtmiseks kasutatud ruumid on olnud kogu mõõtmisperioodi vältel kasutusel. Tabelis 19 on välja toodud sisekliima parameetrite klasside kuuluvused protsentides kogu mõõteperioodi jooksul.

Tabel 19. Sisekliima parameetrite ajaline klassidesse kuuluvus.

Parameeter	Sisekliima klass	Soovituslike väärtuste vahemik	KE1	KE2	KE3-1	KE3-2	KE4	KE5
Temperatuur, C	I	21,0-25,0	94	98,7	76,6	84,6	95,8	94,5
	II	20,0-25,0	96	98,7	77,9	84,7	95,8	99,3
Suhteline õhuniiskuse, %	I	30-50	64,7	40,1	89,3	72	95,2	40,8
	II	25-60	83,8	70,6	99,4	94,4	100	69,3
Süsihappegaasi sisaldus, ppm	I	< 700	58,7	61,7	23,4	33,4	17,2	94,8
	II	< 850	86	85,5	31,1	57,5	29	99,6
	III	< 1150	98,2	98,3	46,8	85,5	51,4	99,9
	IV	> 1150	1,8	1,7	53,2	14,5	48,6	0,1

Uuringus osalevates korterites oli neljas siseõhu temperatuur üle 90% ajast sisekliima I klassis, vahemikus 21 kuni 25 °C, korteris KE 3-2 oli see väärtus 84,6% ja korteris KE 3-1 76,6 %.

Suhtelise õhuniiskuse I sisekliima klassiks on vahemik 30% kuni 50% . Mõõdetavatest korteritest kõige parem tulemus oli korterites KE 4 ja KE 3-1, kus väärtused olid vastavalt 95,2 % ning 89,3%. Ülejäänud korterites oli protsent märgatavalt väiksem, jäädes korterites KE 2 ja KE 5 koguni 40% piiri peale. Suhtelise õhuniiskuse II sisekliima klassis, vahemikus 25 kuni 60%, oli korteri KE 4 mõõtmisperioodi ajaline kuuluvus 100%. 90% piiri ületasid korterid KE 3-1 ja KE 3-2, kus väärtused olid vastavalt 99,4% ning 94,4 %. Korterites KE 2 ja KE 5 jäi II klassi ajaline kuuluvus 70% peale.

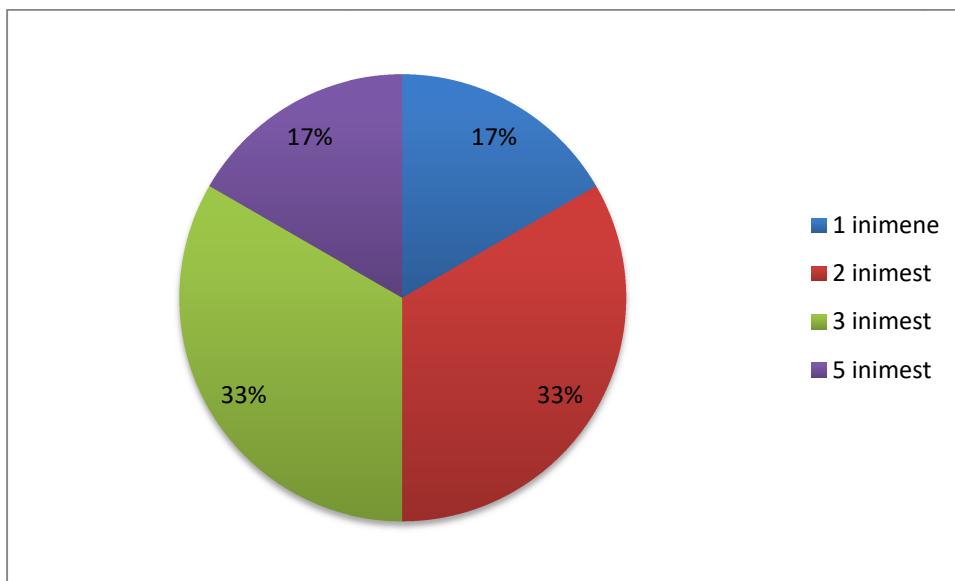
Süsihappegaasi sisalduse tase kõikus korterites suhteliselt palju. I sisekliima klassi vahemikus kuni 700 ppm, oli kõige parem tulemus korteril KE-5, kus ajaline kuuluvus oli 94,8%. Siia klassi mahtusid veel korterid KE 1 ja KE 2, kus mõõtmisperioodi väärtused olid 58,7% ja 61,7%. Teiste korterite tulemused jäävad madalamale tasemele. Süsihappegaasi sisalduse II sisekliima klassis, vahemik kuni 850 ppm, on korterite KE 1, KE 2 ja KE 5 väärtused üle 85%. Korteris KE 3-2 on ajaline periood 57,5% ja ülejäänud korterites jääb see 30% kanti. Sisekliima III klassis, vahemik kuni 1150 ppm, on enamuste

korterite ajaline kuuluvus üle 50%. Välja jääb ainult korter KE 3-1, kus mõõtmisperioodi ajaliseks kuuluvuseks on 46,8%. Süsihappegaasi sisalduse IV klassis on korter KE 3-1 väärtuseks 53,2%. IV sisekliima klassi kuuluvad üle 1150 ppm süsihappegaasi sisaldusega korterid.

3.5 Korterialanike küsitlus

Korterialanike ankeetküsitlus viidi läbi kõigis korterites, kus toimus siseõhu parameetrite mõõtmine andmesalvestajaga. Ankeedi küsimustik koosnes küsimustest, kus elanikud said anda hinnangulise skaalas vastuse 1 kuni 7.

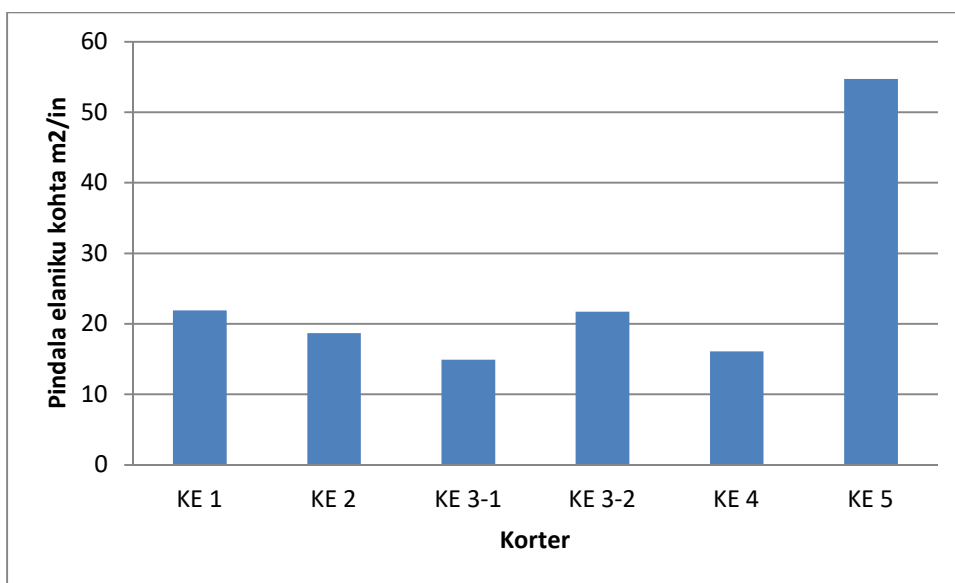
Uuringus osalevatest korteritest 50% elasid üürnikud ja 50% korteritest oli elanike enda omandis. Keskmine elanike arv korteris oli 2,67 inimest korteri kohta. Joonisel 22 on esitatud korteri elanike arvu protsentuaalne jaotus.



Joonis 22. Elanike arvu protsentuaalne jaotus korterites

Elamispinna pindala keskmiselt ühe inimese kohta oli 24,7 m². Eesti keskmine elamispind elaniku kohta on 30,5 m², seega on uuringus osalenud korterite keskmine elamispinna pindala inimese kohta 20% väiksem. Varasemate Eestis läbi viidud uuringutega[12] võrreldes on elanike arv korteris muutunud minimaalselt, 2,8 pealt 2,67 peale. Samuti on

jäänud samale tasemele elamispinna keskmine pindala, olles varasemas uuringus 25 m² ja käesolevas uuringus 24,7 m². Seega on käesolevas uuringus saadud suhteliselt representatiivne valim. Elamistihedus uuritud korterites oli väga erinev, kõige vähem elamispinda ühe elaniku kohta oli 14,9 m² ja kõige suurem 54,7 m², mis teeb 3,7-kordset erinevust pindade vahel. Joonisel 23 on välja korterite kaupa elamispinna pindala ühe inimese kohta.



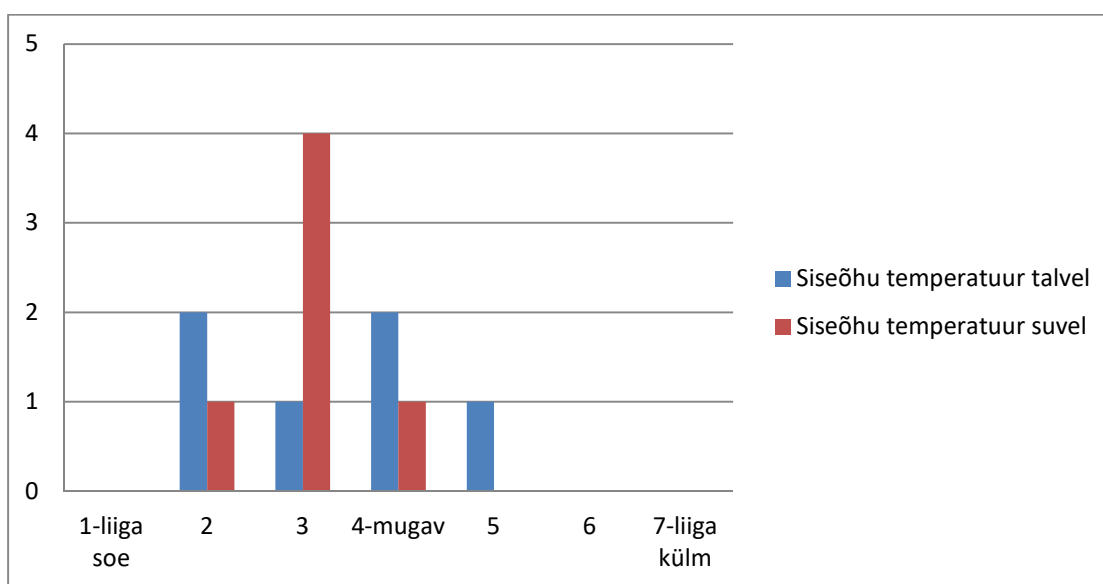
Joonis 23. Korterite elamispinna pindala inimese kohta

Tabelis 20 on välja toodud koondandmed uuringus osalenud korterite kohta [22]. Tabelisse on märgitud korteri pindala, elanike arv, pindala elaniku kohta, tubade arv ja mitmendal korrusel korter paikneb.

Tabel 20. Uuringus osalenud korterite koondandmed

Korter	KE 1	KE 2	KE 3-1	KE 3-2	KE 4	KE 5
Pindala	65,8	56,1	29,8	43,3	80,4	54,7
Elanike arv	3	3	2	2	5	1
Tubade arv	3	3	1	2	5	2
Pindala elaniku kohta	21,9	18,7	14,9	21,7	16,1	54,7
Korrus	3	5	3	1	1	2

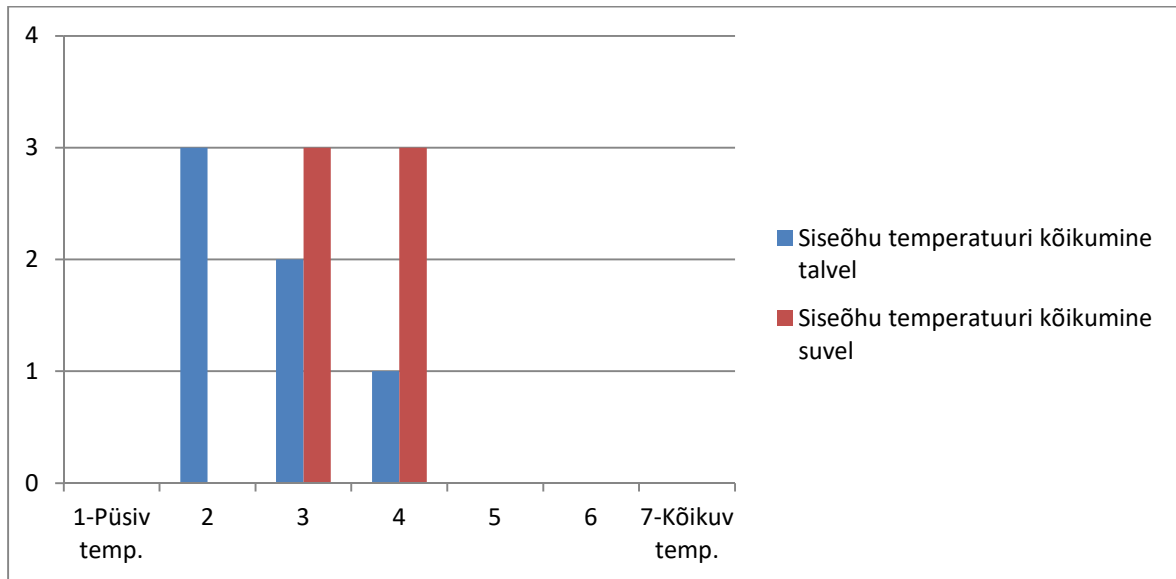
Kütte- ja ventilatsiooniprobleemide suurust korterites hindasid elanikud skaalal 1 kuni 7. Temperatuuri puhul tähistab 1-liiga soe ja 7-liiga külm. Siseõhu temperatuuri hinnati nii suvel kui talvel enamasti mugavaks. Joonisel 24 on siseõhu temperatuurile antud hinnang.



Joonis 24. Siseõhu temperatuuride hinnang

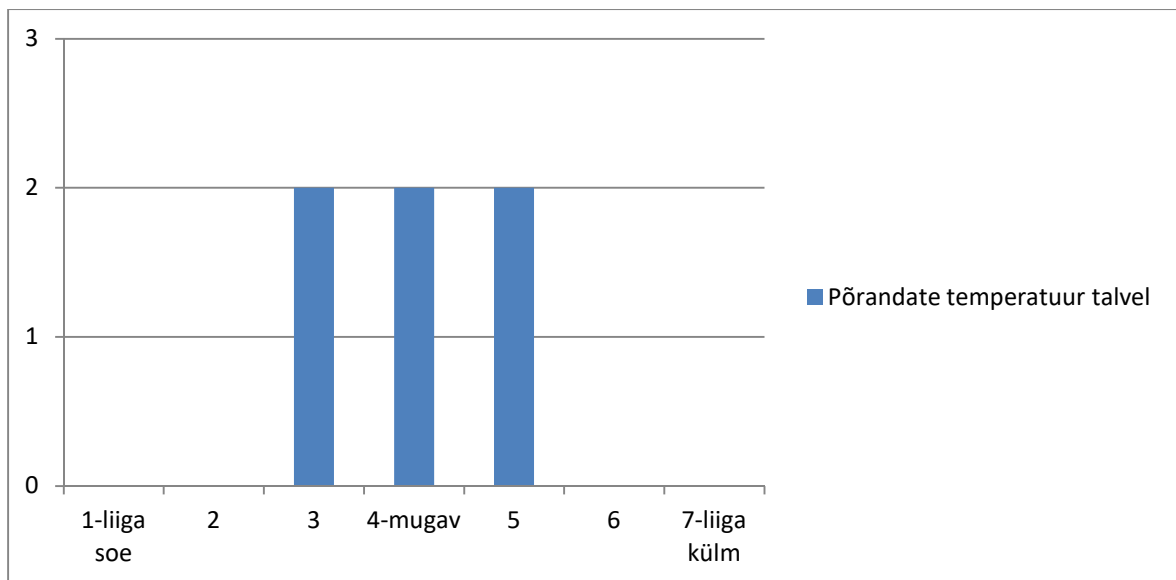
Jooniselt selgub, et kui suvel hinnati siseõhu temperatuuri pigem mugavaks, siis talvisel perioodil jagunevad hinnangud mugava ja pigem natuke sooja vahel võrdselt. Korteris, kus oli siseõhu temperatuur talve keskmisele mõõtetulemusele kõige lähemal, hindasid elanikud temperatuuri pigem jahedaks. Siseõhu temperatuuri kõikumise probleemi hinnati

suuremaks pigem suvel kui talvel. Joonisel 25 on siseõhu temperatuuri kõikumisele antud hinded.



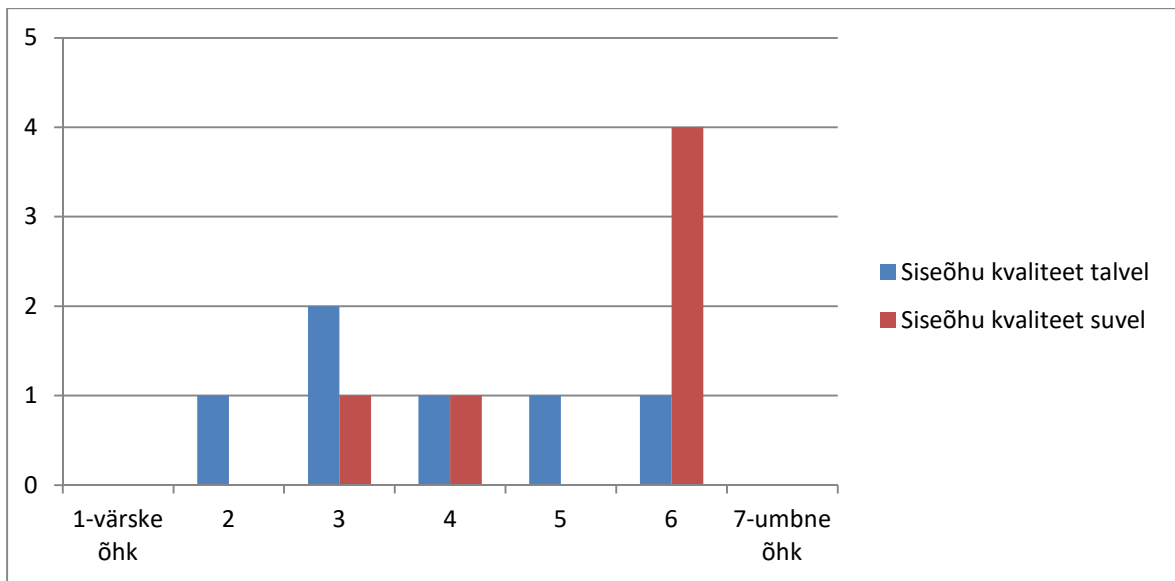
Joonis 25. Siseõhu temperatuuride kõikumise hinnang

Põrandate temperatuuri hinnati kõikides korterites mugava tsooni lähedal. Joonisel 26 on põrandate temperatuuride hinnang talvel.



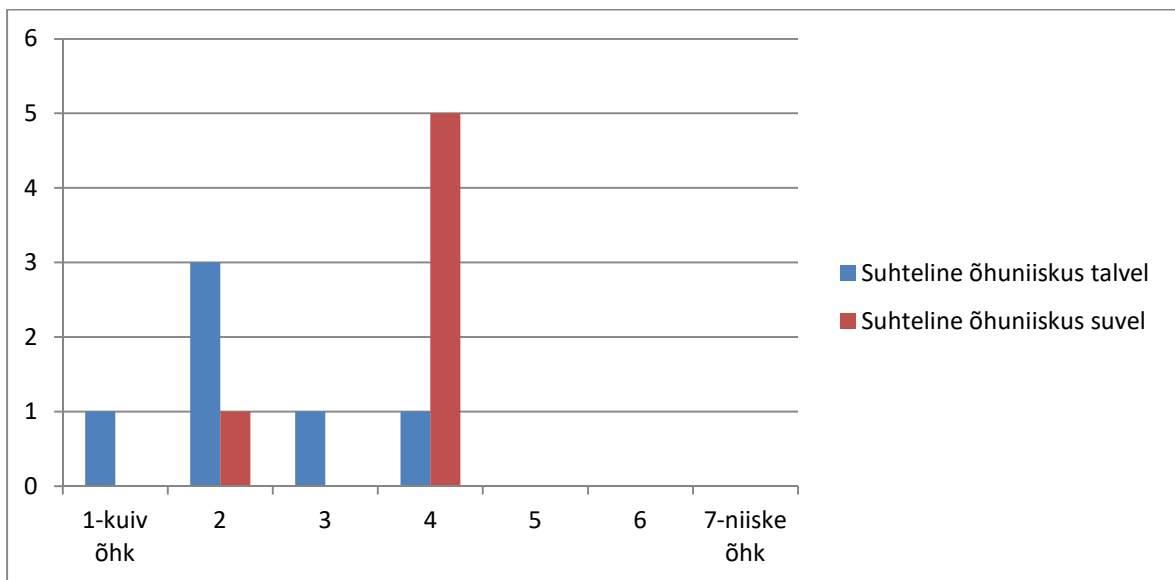
Joonis 26. Hinnang põrandate temperatuurile talvel

Siseõhu värskust talvel hindasid enamus kortereid pigem keskmiseks, ainult ühes korteris oli see natuke probleemiks. Suvisel perioodil aga hindasid enamik küsitluses osalenud seda natuke umbseks. Joonisel 27 on toodud hinnang siseõhu värskusele ja umbsusele.



Joonis 27. Siseõhu kvaliteedi hinnang

Kui suveperioodil hinnati siseõhu niiskust enamasti mugavaks, siis talvisel perioodil hindasid suurem osa korteritest korteri siseõhku liiga kuivaks. Seda sama tulemust näitasid ka mõõtmised, mis korterites läbi viidi. Joonisel 28 on hinnang siseõhu suhtelisele õhuniiskusele.



Joonis 28. Suhtelise õhuniiskuse hinnang

Siseõhu lõhna probleemi hindasid kõik küsitluses osalenud nii suvel kui talvel pigem lõhnatuks. Tõmbetuult suvel ja talvel hinnati probleemina 100% korterites väga väikeseks.

Kütte-ja ventilatsiooni seadmete müra ei pidanud enamuse kortereid üldse probleemiks. Ainult ühes korteris hinnati see probleem väga suureks, isegi nii, et segas öösiti und.

3.5 Hinnang sisekliima parameetritele

Kortere lamute renoveerimise eesmärgiks on ühtlustada kortermaja temperatuuri kütteperioodil ja läbi selle parandada korterite sisekliimat. Mõõtmistulemusi analüüsides on näha, et olenevalt korterite asukohast jäävad kõikide korterite tulemused soovituslike väärtuste vahemikku. Kuna kõikides korterites loodi renoveerimise käigus võimalus individuaalselt termostaadi abil radiaatorite temperatuuri muuta, siis on ka see suuresti korteri siseõhutemperatuuri keskmiste määraja. Korteri keskmine siseõhu temperatuur on peale renoveerimist tõusnud. Kui enamustes korteris oli siseõhu temperatuur suhteliselt stabiilne, kõikides vaid paari kraadi piires, siis oli ka kortereid, kus kõikumine oli küllaltki suur. Selle põhjuseks võib lugeda ruumide üle rahvastatust ja ka lisaventilatsioon akende kaudu. Võrreldes renoveerimiseelse perioodiga, võib suureks siseõhu temperatuuri probleemiks lugeda liiga kõrget temperatuuri. Seda esines kõikides uuringus osalenud korterites, kõige suurem oli aga probleem ühe kortermaja kahes korteris.

Korterite suhtelise õhuniiskuse tase on peale renoveerimist langenud. Jäädes kõikides korterites alla soovituslike väärtuste vahemiku. Rahuldavaks võib tulemust lugeda ainult ühes korteris. Ka elanike seas läbi viidud ankeetküsitlus näites, et korterite elanikud kurdavad liiga kuiva õhu üle. Enne renoveerimist läbi viidud uuringutes olid suhtelise õhuniiskuse näitajad paremad, jäädes enamuse ajast soovituslike väärtuste vahemikku. Suhtelise õhuniiskuse languse üks põhjusi on kindlasti siseõhu temperatuuri keskmise tõus, sest õhutemperatuuri kasvades langeb suhtelise õhuniiskuse protsent.

Süsihappegaasi sisalduse poolest õhus on olukord korterite palju paremaks läinud. Neljas korteris kuuest jäi süsihappegaasi sisalduse tase alla hea siseõhu kvaliteedi piiri. Samuti ei ületanud ülejäänud kahes korteris tase halva siseõhu kvaliteedi piiri, jäädes kahe piiri vahele. Antud korterite suurema taseme põhjusteks võib lugeda seda, et ühte kasutati lisaks elutoale ka magamistoaks ning teine korter oli kõige suurema elanike arvuga korter uuringutel. Üldiselt võib korterite ventilatsiooni lugeda piisavaks.

Üldine sisekliima olukord korterelamutes on võrreldes renoveerimise eelse olukorraga paranenud. Seda näitavad nii mõõtmistulemused, kui ka korteri elanike tagasiside. Erandina võib välja tuua ühe korteri, kus elanikud kurtsid, et peale renoveerimist on korteri siseõhu temperatuur jahedam. Samas näitasid mõõtmised korteris suhteliselt ühtlast temperatuuri ja alla soovitusliku taseme väärtuse ei langenud temperatuur kordagi.

Autor pakub välja omapoolsed soovitused uuringus leitud kitsaskohtade parandamiseks. Väljapakutud soovitused on autori omapoolne nägemus ja mille tõhusus vajaks põhjalikumaid lisauuringuid.

Soovitused sisekliima parandamiseks kortermajades on:

1. Leida optimaalne asend termostaadile
2. Tõsta korterielanike teadmisi korteri süsihappegaasi sisalduse kohta ja vajadusel teha lisa õhuvahetus akende kaudu
3. Leida võimalus suhtelise õhuniiskuse tõstmiseks.
4. Tõhustada korterelamute renoveerimise järelvalvet

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös on uuritud viie Tartu linnas paikneva korterelamu sisekliima näitajaid ja antakse hinnang kortermajade sisekliimale. Töö eesmärgiks viidi läbi mõõtmised kuues korteris, et saada ülevaade kolmest sisekliima parameetrist- siseõhu temperatuur, suhteline õhuniiskus ja süsihappegaasi sisaldus. Töös kasutatud mõõtesead, mõõtemetoodika ja analüüsi meetod andsid piisavalt palju andmeid tegemaks ülevaatlikke järeldusi kortermajade sisekliima kohta. Töös kasutatud metoodika on rakendatav ka teistel sarnastel elamutel, andes võimaluse ka edaspidisteks ja põhjalikemaks uuringuteks.

Korterites mõõdetud keskmine siseõhu temperatuur perioodil oli +23,9 °C. Siseõhu temperatuuri kõikumine kõikide korterite peale oli +11,4°C kuni +32,9°C. Minimaalne keskmine temperatuur oli +22,5°C ja maksimaalne keskmine temperatuur oli +24,3°C. Siseõhu temperatuuri soovituslike väärtuste vahemikuks on 21 kuni 25 kraadi C.

Keskmine suhteline õhuniiskus korterites mõõteperioodil oli 34,5%. Suhtelise õhuniiskuse kõikumine korterite peale oli 12,9% kuni 66,5%. Minimaalne keskmine suhteline õhuniiskus oli 29,2% ja maksimaalne oli 39,5%. Suhtelise õhuniiskuse soovituslike väärtuste vahemikus on 40-60 %.

Korterite keskmine süsihappegaasi tase mõõteperioodil oli 769 ppm. Süsihappegaasi sisalduse kõikumine korterite peale oli küllaltki suur, 336 ppm kuni 5804 ppm. Minimaalne keskmine süsihappegaasi sisaldus oli 539 ppm ja maksimaalne keskmine tase oli 1235 ppm. Süsihappegaasi sisalduse soovituslikuks piiriks on kuni 1000 ppm.

Korterite elanike seas läbi viidud küsitluse tulemustest selgus, et keskmine elanike arv korteri kohta on 2,67 inimest. Igale elanikule on korteris keskmiselt elamispinda 24,7 m². Elamistihedus korterites on väga varieeruv.

Soojuslikku siseõhu temperatuuri hinnati aastaringselt pigem mugavaks. Samuti ka siseõhu temperatuuri kõikumist ja põrandate temperatuuri talvel. Siseõhu kvaliteeti hinnati pigem umbsemaks suvel, talvel oli probleemiks siseõhu liigne kuivus. Seda näitasid ka mõõtmiste tulemused.

Antud lõputöö põhjal võib väita, et renoveerimisjärgne sisekliima olukord korterelamutes on hea ja parenenud võrreldes renoveerimiseelse olukorraga. Nii siseõhu temperatuuri kui süsihappegaasi sisalduse tulemused vastavad kütteperioodil standardis etteantud väärtustele. Suurimaks probleemiks võib lugeda korterite madalat õhuniiskust, sellele tuleks edaspidistes uuringutes rohkem tähelepanu pöörata ja leida sobivad lahendused.

SUMMARY

In this thesis, the indoor climate indicators of five apartment buildings located in Tartu are studied and the indoor climate of the apartment buildings is assessed. In order to achieve the aim of the thesis, measurements were conducted in six apartments to obtain an overview of the three parameters of indoor climate – indoor air temperature, relative humidity and carbon dioxide content. The measuring device, measuring methodology and analysis method used in the thesis provided sufficient data to make conclusions on the indoor climate of the apartment buildings. The methodology used in the thesis can also be applied to other similar residential buildings, providing an opportunity for further and more profound studies.

The measured average indoor air temperature of the apartments during the period was +23.9 °C. The fluctuation in indoor air temperature of all of the apartments was from +11.4°C to +32.9°C. The minimum average temperature was +22.5°C and the maximum average temperature was +24.3°C. The range of recommended values of indoor air temperature was between 21 and 25 °C.

The average relative humidity of the apartments during the measuring period was 34.5%. The fluctuation in relative humidity of the apartments was from 12.9% to 66.5%. The minimum average relative humidity was 29.2% and the maximum was 39.5%. The range of recommended values of relative humidity is between 40 to 60%.

The average level of carbon dioxide of the apartments during the measuring period was 769 ppm. The fluctuation in carbon dioxide content of the apartments was relatively great from 336 ppm to 5,804 ppm. The minimum average carbon dioxide content was 539 ppm and the maximum average level was 1,235 ppm. The recommended limit of carbon dioxide content is up to 1,000 ppm.

It was revealed from the survey conducted among the residents of the apartments that the average number of residents in the apartment was 2.67 people. For each resident, there is

on average 24.7 m² of residential space in the apartment. The living density of the apartments varies significantly.

The thermal indoor air temperature was rather assessed as comfortable all year. This was also the case with the fluctuation in indoor air temperature and floor temperature in the winter. The indoor air quality was rather assessed as stuffy in the summer, excessive dryness of the indoor air was the problem in the winter. The measurement results supported this, also.

Based on this thesis, it can be said that the post-renovation indoor climate conditions in the apartment buildings were good and have improved when compared to the pre-renovation situation. The results of the indoor air temperature as well as the carbon dioxide content comply with the values prescribed in the standard during the heating period. The biggest problem was the low air humidity of the apartments; further studies should pay greater attention to this and suitable solutions should be found.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Pittini, A., Ghekière, L., Dijol, J. Kiss, I.** (2015). The State of Housing in the EU 2015. Brüssel: Housing Europe. 106 lk.
2. **Kalm, M.** (2002). Eesti 20. sajandi arhitektuur. Tallinn: Sild. 527 lk.
3. **Murula, R.** (2009). Linnaehituslik analüüs ja planeerimisettepanekud 1960-ndate tüüpelamute (seeria 1-317) kvartalite kaasajastamiseks. [Võrgumaterjal]. http://murula.eu/failid/visioon/I_linnaehituslik_analyys.pdf.
4. **Virkus, K.** (15. veebruar 2017) Kas hruštšovkasid tasub renoveerida? - *Postimees*. http://majandus24.postimees.ee/4015411/kas-hrustsovkasid-tasub-renoveerida?_ga=1.61315180.1751234605.1460093862
5. Eluruumidele esitatavad nõuded. Vabariigi valitsuse määrus nr. 85. (vastu võetud 02.07.2017). - *Riigi teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/103072015034>
6. **EVS-EN 15251:2007.** Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast. Tallinn: Eesti standardikeskus.
7. **Abel, E., Voll, H., Tark, T.** (2014). Hoonete energiatarve ja sisekliima. 2. Tallinn. 306lk.
8. **Seppänen, M., Seppänen, O.** (1998). Hoone sisekliima kujundamine. Tallinn. 269lk.
9. **Kõiv, T., Hamburg, A., Mikola, A., Kiil, M., Tukia, A., Rohula, T., Silm, G., Palmiste, Ü.** (2014). Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiatarbe seire ja analüüs ning nende vastavus standarditele ja energiaaudititele. Tallinn. Kättesaadav: http://kredex.ee/public/Uuringud/Rekonstrueeritud_korterelamute_uuring.pdf
10. **Kõiv, T. A., Rant, A.** (2013). Hoonete küte. 2. Tallinn. 404lk.
11. Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast. Standard EVS-EN 15251:2007
12. **Kalamees, T., Kõiv, T.-A., Liias, R., Õiger, K., Kallavus, U., Mikli, L., Ilomets, S., Kuusk, K., Maivel, M., Mikola, A., Klõšeiko, P., Agasild, T., Arumägi, E., Liho, E., Ojang, T., Tuisk, T., Raado, L-M., Jõesaar, T.** (2010). Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline sisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõpraport. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond.

13. **Kalamees, T., Õiger, K., Kõiv, T.-A., Liias, R., Kallavus, U., Mikli, L., Lehtla, A., Kodi, G., Luman, A., Arumägi, E., Mironova, J., Peetrimägi, L., Korpen, M., Männiste, L., Murman, P., Hamburg, A., Tali, M., Seinre, E. (2009).** Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõpparuanne. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond.
14. **Kalamees, T., Ilomets, S., Arumägi, E., Alev, Ü., Kõiv, T.-A., Mikola, A., Kuusk, K., Maivel, M. (2011).** Indoor Hygrothermal Conditions In Estonian Old Multy-storey Brick Apartment Buildings. - The 12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Austin, Texas, USA.
15. **Kalamees, T., (2010)** Indoor temperature and humidity conditions in Estonian old multi-storey apartment buildings composed of prefabricated concrete elements. - Proceedings of Clima2010 10th Rehva World Congress. Sustainable Energy Use in Buildings. Antalya, Turkey.
16. **Liuliu Du, Virpi Leivo, Dainius Martuzevicius, Tadas Prasauskas, Mari Turunen, and Ulla Haverinen-Shaughnessy (2016)** INSULAtE-project results.
17. **Martuzevicius, D., Leivo, V., Tichonovas, M., Pekkonen, M., Prasauskas, T., Aaltonen, A., Sidaraviciute, R., Kiviste, M., Haverinen-Shaughnessy, U., Turunen, M., Krugly, E., Ciuzas D., Pilkyte, L. (2013)** Improving Energy Efficiency of Housing Stock: Demonstration of Impacts on Indoor Environmental Quality and Public Health in Northern Europe. - Proceedings ASHRAE IAQ 2013: Environmental Health in Low Energy Buildings, Vancouver, Canada.
18. **Kamendere, E., Zogla, G., Kamenders, A., Ikaunieks J., Rochas, C. (2015).** Analysis of mechanical ventilation system with heat recovery in renovated apartment buildings. - Science Direct. Energy Procedia No.72, pp. 27-33.
19. **Kaha, Ü. (2016).** Hruštšovka renoveerimise võimalused SmartEnCity projekti raames. (Lõputöö). Tallinna Tehnikakõrgkooli ehitusteaduskond. Tallinn.
20. Rotronic CL-11 <https://www.rotronic.com/en/cl11.html>
21. **Liiske, M. (2002).** Sisekliima. Tartu. 188lk.
22. Ehitisregister. [Võrgumaterjal].
23. Delfi kaardirakendus. <https://kaart.delfi.ee/>
24. Elamuehitus 1950-2006
25. **Siitam, P., (2015).** Ligi nullenergiahooned- miks ja kuidas edasi? Eesti arengufond
26. **Vitsut, M.,(2017).** Tellis- ja suurplokk korterelamute ehitustehnilise seisukorra hindaminekorterite sisekliima renoveerimiseelne mõõtmine. Eesti Maaülikool. Tartu
27. **Kalamees T., Thalfeldt M., Meos H., Laas M., Zelenski M., Kurnitski J., Diligentov E., Bõkova L. (2015)** Tallinna Tehnikaülikool, EstKonsult OÜ, „Korterelamute välispiirete lisasoojustamise sõlmejoonised ja tüüpkerite ventilatsioonilahendused,“ [Võrgumaterjal Kättesaadav :http://www.kredex.ee/public/Uuringud/Korterelamute_valispiirete_lisasoojustamise_s_olmejoonised_ja_tuupkerite_ventilatsioonilahendused.pdf.

28. Tallinna Tehnikaülikool, „Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning planeeritav eluiga,“ 2009. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: http://www.kredex.ee/public/Uuringud/Suurpaneelelamute_uuringu_loppraport_trukk.pdf.
29. **Õiger K.**, „Ehitiste renoveerimine: konspekt,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://digi.lib.ttu.ee/i/?713>.
30. SA KredEx, „Energiatõhusus korterelamus,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <http://www.kredex.ee/energiatohususest/>.
31. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi valitsuse määrus nr. 63. (vastu võetud 11.12.2018). - Riigi teataja <https://www.riigiteataja.ee/akt/113122018014>
32. Energiatalgud. www.energiatalgud.ee. Eesti Arengufond
33. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency.
34. Riigi Ilmateenistus. <https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimanormid/ohuniiskus/>
35. **Földvary V., Bekő G., Langer S., Arrhenius K., Petras D. (2017)** Effect of energy renovation on indoor air quality in multifamily residential buildings in Slovakia.

LISAD

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, KRISTJAN RAUD,

sünniaeg 15.07.1984,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

Tartu renoveeritud korterelamute siseõhu temperatuuri, suhtelise niiskuse ja süsihappegaasi sisalduse hindamine,

mille juhendaja on, dotsent Mihkel Kiviste,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(allkiri)

Tartu, _____

(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

